

ПОТРЕБЛЕНИЕ АКТИВНОЙ И БАЛАНС РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЕЙ В ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

2.1. Задачи проработки раздела

Задачами расчетов и анализа полученных результатов в данном разделе проекта являются:

- определение активной мощности, потребляемой в проектируемой сети;
- оценка суммарного потребления реактивной мощности в проектируемой электрической сети;
- анализ выполнения условий баланса реактивной мощности в проектируемой сети;
- определение суммарной мощности компенсирующих устройств, устанавливаемых в сети;
- определение мощности компенсирующих устройств и их размещения в узлах электрической сети.

Расчет баланса мощности должен выполняться для всех основных нормальных (в данном курсовом проекте – для максимального режима) и наиболее тяжелых послеаварийных режимов (в данном курсовом проекте – наиболее тяжелого послеаварийного режима) работы проектируемой сети.

На первом этапе выполнения проекта оценка баланса реактивной мощности выполняется только для нормального (максимального) режима работы проектируемой сети при наибольших нагрузках потребителей.

2.2. Обеспечение потребителей активной мощностью

Потребление активной мощности в проектируемой сети в период наибольших нагрузок складывается из заданных нагрузок в пунктах потребления электроэнергии и потерь мощности в линиях, понижающих трансформаторах и автотрансформаторах (если они будут). При определении одновременно потребляемой активной мощности следует учитывать несовпадение по времени суток наибольших нагрузок отдельных потребителей. За счет этого несовпадения одновременно потребляемая активная мощность составляет обычно 95–96 % (коэффициент $k_{o(P)} = (0,95–0,96) \sum_i^n P_{нб,i}$) от суммы заданных наибольших нагрузок. Потери активной мощности в правильно спроектированной сети составляют 4–6 % от потребляемой мощности ($\Delta P_c = 0,04–0,05$ от суммарной потребляемой мощности в узлах).

Источниками активной мощности в электроэнергетических системах являются электрические станции. Установленная мощность генераторов электростанций должна быть такой, чтобы покрыть все требуемые нагрузки с учетом потребителей собственных нужд станций и потерь мощности в элементах сети, а также обеспечить необходимый резерв мощности в системе. В курсовом проекте рассматривается электроснабжение района от электростанции или от одной из подстанций, входящих в состав крупной электроэнергетической системы, способной обеспечить выдачу **активной** мощности всем потребителям проектируемой сети без каких-либо ограничений.

Наибольшая суммарная активная мощность, потребляемая в проектируемой сети $P_{П.НБ}$, составляет:

$$P_{П.НБ} = k_{o(P)} \sum_{i=1}^n P_{нб,i} + \Delta_* P_c \sum_{i=1}^n P_{нб,i} = (k_{o(P)} + \Delta_* P_c) \sum_{i=1}^n P_{нб,i}, \quad (2.1)$$

где $P_{нб,i}$ – наибольшая активная нагрузка подстанции i , $i = 1, 2, \dots, n$; $k_{o(P)} = 0,95-0,96$ – коэффициент одновременности наибольших нагрузок подстанций; $\Delta_* P_c = 0,05$ – суммарные потери мощности в сети в долях от суммарной нагрузки подстанций.

Если источником является электрическая станция, то соответствующая данной потребляемой мощности $P_{П.НБ}$ необходимая установленная мощность генераторов электростанций ($P_{ЭС}$) определяется следующими составляющими

$$P_{ЭС} = P_{П.НБ} + P_{ЭС,СН} + P_{ЭС,РЕЗ}, \quad (2.2)$$

где $P_{ЭС,СН}$ – электрическая нагрузка собственных нужд и $P_{ЭС,РЕЗ}$ – оперативный резерв мощности электростанций.

Нагрузка собственных нужд зависит от типа электрической станции и может быть принята ориентировочно для КЭС–3–8 %, для ТЭЦ–8–14 %, для АЭС–5–8 % и для ГЭС–0,5–3 % от установленной мощности генераторов электрической станции.

Оперативный резерв ($P_{ЭС,РЕЗ}$) обосновывается экономическим сопоставлением ущерба от вероятного недоотпуска электроэнергии при аварийном повреждении агрегатов на электростанции с дополнительными затратами на создание резерва мощности. Ориентировочная резервная мощность электростанций должна составлять 10–12 % от суммарной установленной мощности генераторов, но должна быть не менее номинальной мощности наиболее крупного из генераторов, питающих рассматриваемые потребители.

2.3. Баланс реактивной мощности в проектируемой сети

Согласно [6, п.5.36.1], в нормальных режимах работы энергосистем следует обеспечивать режим работы генераторов на электростанциях с коэффициентом мощности, близким к номинальному.

Согласно [14], основным, но не единственным источником реактивной мощности в системе являются генераторы электростанций. Они вырабатывают одновременно активную и реактивную мощности. Часть потребителей использует из сети чисто активную мощность (электрические лампы накаливания, нагревательные приборы, печи сопротивления и т.п.). Другая часть, с наличием в цепи индуктивного сопротивления, в процессе работы потребляет не только активную, но и реактивную мощность, необходимую для создания электромагнитных полей (электродвигатели, сварочные и силовые трансформаторы и т.д.). У этих электроприемников ток отстает от приложенного напряжения на некоторый угол φ , называемый *углом сдвига фаз*. Косинус этого угла ($\cos \varphi$) называется *коэффициентом мощности цепи*.

Для линий трехфазного тока активная мощность (Вт):

$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi.$$

Реактивная мощность (вар):

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi \text{ или } Q = P \operatorname{tg} \varphi,$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности цепи,

$$\operatorname{tg} \varphi = Q/P.$$

Коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg} \varphi$ является более показательным для оценки реактивной составляющей нагрузки, так как он непосредственно **выражает значение реактивной мощности в долях активной мощности**.

Полная мощность (ВА), отдаваемая генератором в электрическую сеть при номинальных условиях работы, определяется выражением

$$S_{\text{Гном}} = \sqrt{P_{\text{Гном}}^2 + Q_{\text{Гном}}^2},$$

где $P_{\text{Гном}}$ – номинальная активная мощность генератора при номинальном значении коэффициента мощности, $Q_{\text{Гном}} = P_{\text{Гном}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{Гном}}$ – реактивная мощность ($\operatorname{tg} \varphi_{\text{Гном}}$ соответствует номинальному значению коэффициента реактивной мощности генератора).

Из выражения $S_{\text{Гном}}$ видно, что с увеличением потребления реактивной мощности, когда реактивная мощность генератора $Q_{\text{Г}}$ становится больше $Q_{\text{Гном}}$ для сохранения номинальной полной мощности генератора, активная нагрузка должна быть снижена (в нашем случае этого делать нельзя, так как

потребитель должен получить требуемую ему активную мощность). Если активную мощность не снижать, то все звенья электрической сети загрузятся дополнительной реактивной мощностью. Ток во всех звеньях сети (при сохранении необходимой потребителям активной мощности) возрастает. Дополнительная загрузка генераторов, силовых трансформаторов и сетей реактивной составляющей тока (при сохранении передаваемой активной мощности) приводит к перегрузу генераторов, трансформаторов и сетей. Потребуется увеличение пропускной способности всей системы электроснабжения, т.е. сооружение более мощных электростанций, подстанций, увеличение сечений проводов сети, а также появятся дополнительные эксплуатационные расходы. Кроме того, при увеличении тока в сети увеличиваются падения напряжения в ней, что может привести к дополнительному (недопустимому) понижению напряжения у потребителей, удаленных от источника питания, и, как следствие, может потребоваться дополнительная установка средств регулирования напряжения. Увеличение тока также влечет за собой увеличение потерь мощности и энергии на нагревание проводов и обмоток трансформаторов электрической сети.

На основании выше изложенного следует вывод: *между значением реактивной мощности, вырабатываемой генераторами электрических станций, и значением реактивной мощности, потребляемой электроприемниками, должен существовать баланс.* Нарушение этого баланса за счет увеличенного потребления реактивной мощности приводит к отрицательным последствиям. Поэтому очень важной задачей является резкое снижение потребления реактивной мощности, особенно в часы максимальных нагрузок системы и потребителя. С этой целью проводят мероприятия по уменьшению потребления реактивной мощности электроприемниками от энергосистемы (т.е. от генераторов электростанций). Достичь этого можно, предусмотрев компенсацию реактивной мощности с помощью специальных компенсирующих устройств (КУ).

Основным типом КУ, устанавливаемых на подстанциях потребителей, являются конденсаторные батареи.

В электроэнергетической системе для каждого узла системы (на основе специальных расчетов распределения реактивной мощности) определяется реактивная мощность, которую целесообразно передавать из системы в распределительные сети, питающиеся от того или иного узла.

Поэтому при проектировании распределительной электрической сети, получающей питание от системы, *задается реактивная мощность Q_c (или $\text{tg}\varphi_c$), которую целесообразно потреблять из системы в заданном узле присоединения в режиме наибольших нагрузок.* Потребление большей мощности приведет к дополнительной загрузке системных источников

(генераторов) реактивной мощностью, к дополнительным затратам на генерацию и передачу этой мощности и, следовательно, к отступлению от оптимального режима питающей системы (об этом сказано выше). В связи с этим в проекте следует предусмотреть мероприятия по целесообразному потреблению реактивной мощности от системы. Для этого необходим расчет баланса реактивной мощности в проектируемой сети.

Решить вопрос о необходимости установки КУ в проектируемой сети следует до выполнения расчетов возможных вариантов схемы и параметров сети. Вызвано это тем, что компенсация реактивной мощности влияет на передаваемые мощности по линиям электропередачи и через трансформаторы; влияет на потери мощности и напряжения в элементах сети и может повлиять на выбираемые номинальные мощности трансформаторов и сечения проводов линий электропередач в сторону их уменьшения. Таким образом, выбор мощности КУ и их размещение влияют на оценку технических и технико-экономических показателей вариантов схемы сети и, следовательно, на принятие окончательного решения по рациональной схеме проектируемой сети района.

В окончательно выбранном варианте электрической сети (после расчетов режимов) мощности КУ должны быть уточнены для обеспечения выполнения баланса реактивной мощности.

При небольшом количестве пунктов потребления, рассматриваемых в данном проекте (обычно от 4 до 6), результаты расчетов баланса реактивной мощности для разных вариантов схем сетей (при совпадающих номинальных напряжениях) различаются незначительно. Поэтому расчет баланса реактивной мощности допустимо выполнять для одного из вариантов схемы электрической сети. В случае необходимости этот расчет может быть уточнен после окончательного выбора схемы сети.

Суммарная наибольшая реактивная мощность, потребляемая от источника питания (от системной подстанции или от шин электростанции), для проектируемой сети, может быть оценена по выражению:

$$Q_{П,нб} = k_{0(Q)} \sum_{i=1}^n Q_{нб,i} + \sum_{l=1}^m (\Delta Q_l - \Delta Q_{c,l}) + \Delta Q_{T,\Sigma}, \quad (2.3)$$

где $k_{0(Q)}$ – коэффициент одновременности наибольших реактивных нагрузок потребителей, $k_{0(Q)} \approx 0,98$; $Q_{нб,i}$ – наибольшая реактивная нагрузка узла i ; n – количество пунктов потребления электроэнергии; ΔQ_l – потери реактивной мощности в линии l ; l – номер линии в рассматриваемой сети ($l = 1, 2, \dots, m$); $\Delta Q_{c,l}$ – реактивная мощность, генерируемая линией l ; $\Delta Q_{T,\Sigma}$ – суммарные потери реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах.

Для оценки потерь реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах можно принять, что при каждой трансформации напряжения потери реактивной мощности составляют приблизительно 10 % от передаваемой через трансформатор полной мощности:

$$\Delta Q_{T,\Sigma} = 0,1 \sum_{i=1}^n \alpha_{T,i} S_{H\delta,i}, \quad (2.4)$$

где $\alpha_{T,i}$ – количество трансформаций напряжения от источника до потребителей в i -м пункте сети.

Потери реактивной мощности в линии ΔQ_l существенно зависят от передаваемой мощности и длины линии; генерируемая линией реактивная мощность $\Delta Q_{c,l}$ пропорциональна длине линии. Обе эти величины зависят от напряжения электропередачи, причем потери мощности обратно пропорциональны, а зарядная мощность прямо пропорциональна квадрату напряжения линии электропередач. Вследствие этого соотношение ΔQ_l и $\Delta Q_{c,l}$ весьма различается для линий разных номинальных напряжений. Сечение проводов воздушной линии практически не оказывает влияние на величины ΔQ_l и $\Delta Q_{c,l}$.

Для воздушных линий 110 кВ допускается на этой стадии расчета принимать равными величины потерь ΔQ_l и генерации реактивной мощности $\Delta Q_{c,l}$. Для сетей с номинальным напряжением 220 кВ целесообразен расчет потерь реактивной мощности и расчет зарядной мощности линий. Для оценки потерь реактивной мощности в воздушных линиях 220 кВ удельное реактивное сопротивление линии может быть принято равным 0,42 Ом/км, а удельная генерация реактивной мощности $q_c = 0,14$ Мвар/км. При этом следует учитывать количество цепей воздушной линии.

Полученное по (2.3) значение суммарной потребляемой реактивной мощности $Q_{п,нб}$ сравнивается с указанным в задании значением реактивной мощности, которую целесообразно получать из системы А – Q_c , или с определенным по указанному в задании на проект значению коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi_A$:

$$Q_c = P_{п,нб} \text{tg}\varphi_A.$$

В случае, если $Q_{п,нб} \leq Q_c$, необходимость в установке КУ в узлах проектируемой сети отсутствует, так как системные источники реактивной мощности полностью покрывают всю потребность в ней.

При $Q_{п,нб} > Q_c$ в проектируемой сети должны быть установлены КУ, суммарная мощность которых определяется из выражения

$$Q_{к,\Sigma} = Q_{п,нб} - Q_c. \quad (2.5)$$

Как уже отмечалось выше, основным типом КУ являются конденсаторные батареи, подключаемые к распределительным устройствам 10