

Выбор и размещение компенсирующих устройств в электрической сети

Конденсаторные батареи суммарной мощностью $Q_{к,Σ}$ должны быть распределены между подстанциями проектируемой сети таким образом, чтобы потери мощности в сети были минимальны. Решение этой задачи для сложной распределительной электрической сети может быть получено только с помощью специальных методов оптимизации режимов и расчета на ЭВМ по специальным программам. В то же время для достаточно простых схем, рассматриваемых в курсовом проекте, можно дать некоторые рекомендации по решению данной задачи без применения ЭВМ:

а) в электрических сетях двух и более номинальных напряжений (например, 220/110 кВ) следует в первую очередь устанавливать КУ в сетях 10 кВ, питающихся от подстанций более низкого номинального напряжения (например, 110 кВ);

б) в сети одного номинального напряжения экономически целесообразно, в первую очередь, компенсация реактивной мощности у наиболее электрически удаленных потребителей (по активному сопротивлению сети), при этом может быть экономически целесообразна полная компенсация реактивной мощности на данных подстанциях;

в) при незначительной разнице в электрической удаленности подстанций от источника питания в сети одного номинального напряжения расстановка КУ может производиться по условию равенства коэффициентов реактивной мощности нагрузок на шинах 10 кВ, удовлетворяющему требованию баланса реактивной мощности в проектируемой сети ($\text{tg}\varphi_6$):

$$\text{tg}\varphi_6 = \left(\sum_{i=1}^{n_{\dot{E}}} Q_{i\dot{A},i} - Q_{\dot{E},\Sigma} \right) / \sum_{i=1}^{n_{\dot{E}}} P_{i\dot{A},i} \quad (2.6)$$

где $i, n_{\dot{K}}$ – номера подстанций, на которых предусматривается установка конденсаторных батарей. Здесь $\text{tg}\varphi_6$ равен заданному $\text{tg}\varphi_A$ для источника питания А.

Тогда *расчетная мощность конденсаторных батарей в каждом из рассмотренных узлов, который удовлетворяет требованию баланса реактивной мощности в проектируемой сети*, определяется в соответствии с выражением

$$Q_{к,i} = P_{н\dot{6},i}(\text{tg}\varphi_i - \text{tg}\varphi_6), \quad (2.7)$$

здесь $\text{tg}\varphi_6 = \text{tg}\varphi_A$.

Согласно приказу, который называется «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных

энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии», применяемого для определения обязательств сторон в договорах об оказании услуг по передаче электрической энергии от 23.06.15 №380, устанавливаются требования к расчету значений соотношения потребления активной и реактивной мощности [11]. Значения соотношения потребления активной и реактивной мощностей ($\text{tg}\varphi$) определяются в виде *предельных значений коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок* электрической сети, соблюдение которых обеспечивается покупателями электрической энергии (мощности) посредством соблюдения режимов потребления электрической энергии (мощности) либо использования устройств компенсации реактивной мощности. При этом значение коэффициента реактивной мощности в часы малых суточных нагрузок электрической сети устанавливается равным нулю.

В случае участия потребителя по соглашению с сетевой организацией в регулировании реактивной мощности в часы больших и/или малых нагрузок электрической сети, в договоре энергоснабжения определяются также диапазоны значений коэффициентов реактивной мощности, устанавливаемые отдельно для часов больших и/или малых нагрузок электрической сети и применяемые в периоды участия потребителя в регулировании реактивной мощности.

В общих требованиях к расчету указано, что сумма часов составляющих периоды больших и малых нагрузок, должна быть равна 24 часам. Часами больших нагрузок считается период с 7 ч 00 мин. до 23 ч 00 мин., а часами малых нагрузок – с 23 ч 00 мин. до 7 ч 00 мин. *Значения коэффициентов реактивной мощности определяются отдельно для каждой точки присоединения к электрической сети* в отношении всех потребителей, за исключением потребителей, получающих электрическую энергию по нескольким линиям напряжением 6–20 кВ от одной подстанции или электростанции, для которых эти значения рассчитываются в виде суммарных величин.

Для потребителей, присоединенных к сетям напряжением 220 кВ и выше, а также к сетям 110 кВ, в случаях, когда они оказывают существенное влияние на электроэнергетические режимы работы энергосистем (энергорайонов, энергоузлов), предельное значение коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети, а также диапазоны коэффициента реактивной мощности, применяемые в периоды участия потребителя в регулировании реактивной мощности, определяют на основе расчетов режимов работы электрической сети в указанные периоды, выполняемых как для нормальной, так и для ремонтной схем сети.

Предельные значения коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы наибольших суточных нагрузок электрической сети, для потребителей, присоединенных к сетям напряжением ниже 220 кВ, определяются в соответствии с приложением к настоящему Порядку и приведены ниже.

Предельное значение коэффициента реактивной мощности при присоединении потребителя к электрической сети напряжением:

- 6–20 и 35 кВ составляет 0,4 ($\text{tg}\varphi_{\text{пред}} = 0,4$);
- 110 кВ составляет 0,5 ($\text{tg}\varphi_{\text{пред}} = 0,5$);
- 0,4 кВ составляет 0,35 ($\text{tg}\varphi_{\text{пред}} = 0,35$).

При выполнении приведенных норм *коэффициент реактивной мощности* $\text{tg}\varphi_{i(\text{пред})}$ на шинах (6)10-20 кВ в период наибольших нагрузок не должен превышать предельного значения $\text{tg}\varphi_{i(\text{пред})} = 0,4$.

В практических расчетах по выбору компенсирующих установок используют еще другой документ, который называется «Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий» РТМ36.18.32.6-92 [10], разработанный институтом Тяжпроэлектропроект г. Москвы (указания приняты в 1993 году и пока являются действующими). В соответствии с этими указаниями, выбор компенсирующих устройств должен проводиться для режима наибольших реактивных нагрузок. В качестве средств компенсации реактивной мощности принимаются батареи низковольтных (БНК), высоковольтных (БВК) конденсаторов и синхронные электродвигатели.

Так как в данном курсовом проекте рассматриваются сети напряжением 10 кВ и выше, т.е. высоковольтные сети, в составе которых отсутствуют синхронные двигатели, и не рассматриваются сети низкого напряжения (НН) ($U < 1000$ В), то необходимо выбрать высоковольтные конденсаторные батареи (БВК) напряжением 10 кВ. В установках напряжением выше 1 кВ БВК подключаются к шинам подстанции только с помощью выключателей или выключателей нагрузки.

Согласно [10], в основу решений по выбору средств компенсации реактивной мощности (КРМ) была положена *минимизация приведенных затрат*.

Компенсация реактивной мощности оказывает существенное влияние на экономические показатели функционирования электрической сети, так как позволяет снизить потери мощности и электроэнергии в элементах сети. При выполнении норм экономически целесообразной компенсации реактивной мощности у потребителей $\text{tg}\varphi_i$ на шинах НН подстанций должен быть

доведен до экономического значения – $\text{tg}\varphi_{\text{э}}$. Значения его даны [10]. Следуя Указаниям, для сети 6–20 кВ, присоединенной к шинам подстанций с высшим напряжением 35, 110–150 и 220–330 кВ, базовый экономический коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi_{\text{э}}$ принимается равным соответственно 0,25; 0,3 и 0,4. Исходя из условия минимизации приведенных затрат, на каждой подстанции должны быть установлены конденсаторные батареи мощностью

$$Q_{\text{к},i} = P_{\text{н}i}(\text{tg}\varphi_i - \text{tg}\varphi_{\text{э}}). \quad (2.8)$$

Возможно, для некоторых из рассматриваемых подстанций вычисленная мощность конденсаторных установок может оказаться отрицательной. Это свидетельствует о том, что реактивный коэффициент мощности $\text{tg}\varphi_i$ на данной подстанции (ПС) достаточно низкий и установка КУ в данном узле не оправдана. Данный узел должен быть исключен из числа узлов, в которых необходима установка КУ.

Приказ № 380 от 23.06.2015 г. Министерства промышленности и энергетики [11] «О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности...» и «Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности...» от 1993 г. [10] не противоречат друг другу. Поэтому из двух документов, приведенных выше, выбор компенсирующих устройств в курсовом проекте следует проводить согласно [10]. То есть для сети 10 кВ, присоединенной к шинам подстанций с высшим напряжением 35, 110 и 220 кВ, базовый экономический коэффициент реактивной мощности $\text{tg}\varphi_{\text{э}}$ принимается равным соответственно.

- 0,25 для ПС 35 кВ;
- 0,3 для ПС 110 кВ;
- 0,4 для ПС 220 кВ.

Окончательное решение о необходимой мощности конденсаторных батарей на каждой из подстанций принимается по большей из величин, вычисленных по выражению (2.7), удовлетворяющему требованию баланса реактивной мощности в проектируемой сети, и (2.8), удовлетворяющему экономическим соображениям – минимизации приведенных затрат.

Полученные по формулам (2.7) и (2.8) значения реактивных мощностей конденсаторных батарей являются расчетными. Они должны быть уточнены после окончательного выбора мощностей конденсаторных батарей (установок) по номенклатурам заводов-изготовителей с учетом их единичных мощностей.

При проектировании ПС *загрузку* секций или обмоток низшего напряжения (если их две, т.е. если применяются трансформаторы с расщепленной обмоткой низшего напряжения) трансформаторов желательно

делать равномерной и конденсаторные установки подключать равномерно к каждой секции распределительных устройств низшего напряжения (10 кВ) ПС к ячейкам с выключателями.

При равномерной нагрузке обоих трансформаторов ПС и их секций (обмоток низшего напряжения) *количество конденсаторных установок на ПС должно быть равным или кратным количеству секций* ПС (обмоток низшего напряжения трансформаторов).

Согласно [14], в тех случаях, когда потребление реактивной мощности в течение суток колеблется в значительных пределах, мощность конденсаторной установки должна регулироваться. Регулирование осуществляется вручную или автоматически. Наиболее простой и дешевый способ регулирования мощности конденсаторных батарей – одноступенчатый, при котором вся мощность батареи отключается или включается в определенное время суток. На предприятиях со значительной неравномерностью графика потребления реактивной мощности применяется многоступенчатое регулирование. В этом случае в зависимости от потребления реактивной мощности включается или выключается различное количество секций конденсаторной батареи. При этом часть от общей мощности батареи, равной наименьшей реактивной нагрузке потребителя, должна быть нерегулируемой. В промышленности распространено автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей по времени суток, напряжению и току.

Регулирование по времени суток, как наиболее простое, осуществляется на предприятиях, где значение потребляемой реактивной мощности в рабочие периоды почти не меняется или меняется во времени. Зная суточный график потребления реактивной мощности, можно с помощью электрических часов включать или выключать секции конденсаторной батареи.

Регулирование по напряжению применяется в тех случаях, когда у потребителя необходимо одновременно регулировать реактивную мощность и напряжение. Например, при питании потребителя от нерегулируемого (без РПН) силового трансформатора, так как с увеличением реактивной мощности снижается напряжение и, наоборот, с уменьшением потребления реактивной мощности напряжение повышается.

Автоматическое регулирование по току можно осуществить с помощью двух токовых реле. Одно из реле включает установку при росте нагрузок, другое отключает при снижении нагрузок.

Имеются и другие способы регулирования конденсаторных установок по напряжению и току.

Разрядка. При отключении конденсаторной установки от сети (вследствие остаточной электрической зарядки между обкладками конденсаторов) на шинах батареи может сохраниться напряжение, близкое по значению к напряжению сети. Так как естественная саморазрядка конденсаторов происходит очень медленно, то при повторном включении неразряженной батареи в электрическую сеть напряжение на ее вводах может достигнуть двойного напряжения сети, что вызовет значительный бросок тока, а это недопустимо. Поэтому необходимо создать безопасные условия при прикосновении к отключенным конденсаторам. После отключения они должны автоматически разряжаться, при этом напряжение на вводах конденсаторов должно упасть до нуля. Для быстрой разрядки конденсаторов предусматриваются разрядные активные или индуктивные сопротивления, подключаемые параллельно конденсаторам.

Разрядные сопротивления можно включать в схемы звездой, треугольником и открытым треугольником. Однако схема соединения треугольником имеет преимущество перед схемой соединения звездой в том отношении, что в случае обрыва цепи одного из сопротивлений оставшиеся сопротивления будут соединены по схеме открытого треугольника и возможность разряда сохранится для всех трех фаз конденсаторной батареи.

В качестве разрядных сопротивлений в установках напряжением 6–10 кВ применяют два однофазных трансформатора напряжения, соединенных открытым треугольником. Для надежности разрядные сопротивления подключают к шинам конденсаторных батарей наглухо, без установки в цепи отключающих аппаратов и предохранителей.

Исходя из [10], автоматическое регулирование мощности БВК рекомендуется осуществлять при наличии выключателей 6–10 кВ, предназначенных для частой коммутации емкостной нагрузки.

Заключительным в данном разделе расчетом является определение мощностей, которые необходимо будет получить от энергосистемы для электроснабжения потребителей, т.е. определение *нагрузок* подстанций (ПС) *с учетом компенсации реактивной мощности* (за вычетом реактивных мощностей установленных конденсаторных батарей на ПС). В дальнейшем по этим мощностям будут выбираться сечения воздушных линий и мощности силовых трансформаторов ПС.

Все результаты расчетов целесообразно свести в таблицу, указав в ней значения потребляемых активных и реактивных мощностей в узлах сети (т.е. заданные нагрузки в узлах) и реактивные мощности, потребляемые от энергосистемы каждой подстанцией с учетом мощности установленных конденсаторных батарей.

Высоковольтные конденсаторные установки (БВК) предназначены для повышения коэффициента реактивной мощности (доведения значения реактивного коэффициента реактивной мощности $\text{tg}\varphi$ до экономического значения) и используются в электроустановках промышленных предприятий и распределительных сетей напряжением (6) 10 кВ частоты 50 Гц.

Конструктивно конденсаторные установки состоят из одной ячейки ввода и конденсаторных ячеек, количество которых зависит от номинальной мощности установок. В ячейке ввода размещена электрическая аппаратура (разъединитель, приборы и др.). Ячейка ввода конденсаторной установки подключается кабелем к ячейке отходящей линии с выключателем РУ-10 кВ ПС. В конденсаторных ячейках размещены конденсаторы, которые соединены по схеме треугольника. Конденсаторы пропитаны экологически безопасной диэлектрической жидкостью и оснащены внутренними разрядными резисторами. Для защиты каждого конденсатора от токов короткого замыкания последовательно с ним соединен предохранитель. Высоковольтные конденсаторные установки изготавливаются в двух вариантах:

- с устройством защиты от перегрузки по току, превышающему значение 1,3 номинального;
- без устройства защиты от перегрузки по току.

В зависимости от размещения ячейки ввода и наличия разъединителя в ней конденсаторные установки имеют модификации: например, УК – одношкафная при малой мощности конденсаторной установки; М – модернизированная, УКЛ – ячейка ввода слева; УКП – ячейка ввода справа; 56 – с разъединителем; 57 – без разъединителя.

Ниже, в табл. 2.1 приведены номенклатура и основные технические данные двух производителей для нерегулируемых комплектных конденсаторных установок. Для Усть-Каменогорского завода принято следующее обозначение конденсаторной установки – УКЛ (Л или П)-Х1-Х2-Х3, где: УК – установка комплектная конденсаторная; Л – размещение ячейки ввода – с левой стороны ячеек конденсаторов; П – размещение ячейки ввода – с правой стороны ячеек конденсаторов; Х1 – напряжение, кВ; Х2 – мощность конденсаторной установки, квар; Х3 – климатическое исполнение и категория размещения (У1 – наружное, У3 – внутреннее).

Климатическое исполнение и категорию размещения необходимо выбирать в зависимости от того, где будут устанавливаться конденсаторные установки, на улице (У1) или в помещении (У3).

Таблица 2.1

Установки конденсаторные Усть-Каменогорского завода (УКЛ) и НПЦ
«Энерком» (КУ), г. Москва, на напряжении 6, 10 кВ

тип	Масса, кг	Габарит, мм дл х ш х в
УКЛ(П)-10,5-450	600	2210x820x1600
УКЛ(П)-10,5-900	885	3010x820x1600
УКЛ(П)-10,5-2700	2125	6210x820x1600
УКЛ(П)-10,5-1800	1655	4625x848x1787
УКЛ(П)-10,5-1350	1170	3810x820x1600
УКЛ(П)-10,5-2250	–	–
УКЛ(П)-10,5-3150	–	–
КУ-6,3(10,5)-450	–	1120x780x1780
КУ-6,3(10,5)-900	–	1920x780x1780
КУ-6,3(10,5)-1350	–	2720x780x1780
КУ-6,3(10,5)-1800	–	3520x780x1780
КУ-6,3(10,5)-2250	–	4320x780x1780

Кроме того, имеются еще другие производители и другие типы высоковольтных комплектных конденсаторных установок, с другими мощностями и другими ступенями регулирования, в том числе и регулируемые, которые при необходимости надо найти. В частности, имеются конденсаторные установки КРМ-6,3 (10,5) производства ЗАО «Матик–электро», аналогом которых являются установки УК, УКЛ(П)56, УКЛ(П)57 и другие.