

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра электроснабжения промышленных предприятий

В.Б. Шлейников

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЦЕХОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Методические указания
к лабораторной работе

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург
2011

УДК 621.316.176(07)

ББК 31.29-5я7

Ш 68

Рецензент – доцент, кандидат технических наук А.В. Садчиков

Шлейников, В.Б.

Ш 68

Компенсация реактивной мощности в цеховой электрической сети: методические указания к лабораторной работе / В.Б. Шлейников; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2011. – 19 с.

В методических указаниях приводятся краткие теоретические сведения и последовательность выполнения лабораторной работы по изучению потребления и компенсации реактивной мощности в цеховой электрической сети; приведены варианты индивидуальных заданий, контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Электроснабжение предприятий» для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по специальности 140106 - Энергообеспечение предприятий.

УДК 621.316.176(07)

ББК 31.29-5я7

© Шлейников В.Б., 2011

© ОГУ, 2011

Содержание

1 Лабораторная работа №4 Компенсация реактивной мощности в цеховой сети	4
1.1 Краткие сведения о компенсации реактивной мощности.....	4
1.2 Устройства для компенсации реактивной мощности.....	7
1.3 Компенсация реактивной мощности в сети 0,4 кВ.....	9
1.4 Описание лабораторной установки РССЭС1-Н-Р.....	11
1.5 Основные приемы работы со стендом.....	12
1.6 Ход работы.....	13
2 Варианты индивидуальных заданий.....	17
3 Контрольные вопросы.....	18
4 Литература, рекомендуемая для изучения темы.....	18
Список использованных источников.....	19

1 Лабораторная работа №4 Компенсация реактивной мощности в цеховой сети

Цель лабораторной работы – изучение режимов потребления реактивной мощности в сети промышленного предприятия

Задачи:

1 Измерить потребление реактивной мощности группы низковольтных электроприемников.

2 Определить влияние характера нагрузки на величину потребления реактивной мощности в цеховой сети.

3 Исследовать влияние батарей конденсаторов на режим потребления реактивной мощности группой низковольтных электроприемников.

1.1 Краткие сведения о компенсации реактивной мощности

В промышленности большая часть электроприемников при своей работе создает реактивный ток. Этот режим называют – потребление реактивной мощности, что обуславливает сдвиг по фазе между током и напряжением в месте установки приемника. За счет этого сдвига по фазе, кроме активной мощности P , необходимой для обеспечения работы приемника, по всем звеньям цепи от источника тока до приемника системы электроснабжения происходит передача реактивной мощности Q . Передача этой мощности вызывает увеличение тока, следовательно, появляются дополнительные потери активной мощности во всех элементах системы электроснабжения, от генераторов электростанции и до приемника электроэнергии.

Загрузка линий и трансформаторов реактивной мощностью вызывает увеличение потери напряжения и, следовательно, большие отклонения напряжения от номинального значения в системе электроснабжения при изменении нагрузки, что ухудшает режим работы приемников.

Дополнительные потери мощности, вызываемые прохождением реактивной мощности, ухудшают экономичность работы сети.

Кроме того, реактивная мощность уменьшает пропускную способность всех звеньев системы электроснабжения, загружая их реактивной составляющей тока, и не позволяет использовать полностью установленную мощность генераторов на электрических станциях.

Невозможность использования некоторой части установленной мощности источников электроэнергии и передающих звеньев цепи питания ведет к излишним капитальным затратам на сооружение электрических станций, подстанций и сетей. Для создания лучшего технического и экономического режима работы системы электроснабжения необходимо стремиться, насколько это целесообразно, к уменьшению передачи по сети реактивной мощности (уменьшению угла сдвига фаз между током и напряжением).

Получение сдвига фаз между током и напряжением, обеспечивающего оптимальную величину реактивной мощности протекающей в сети, производится за счет компенсации реактивной мощности как естественными мерами (за счет улучшения режима работы приемников), так и за счет установки специальных компенсирующих устройств (генераторов реактивной мощности) в соответствующих точках системы электроснабжения.

Наиболее целесообразным считается такой режим, при котором имеют место наименьшие потери активной мощности, обеспечивается минимальное отклонение напряжения от нормального значения, а затраты на компенсирующие устройства окупаются в срок до 8 лет.

Понятие коэффициента мощности

1) Текущее значение коэффициента мощности ($\cos\varphi$). Величина $\cos\varphi$ может быть определена непосредственно по показаниям фазометра или вычислена по показаниям ваттметра, вольтметра и амперметра по формуле (для трехфазной системы)

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I} \quad (1)$$

где P – значение активной мощности (определяется по показаниям ваттметра),

U – значение напряжения (определяется по показаниям вольтметра),

I – значение тока (определяется по показаниям амперметра).

Текущее значение $\cos\varphi$ характеризует изменение угла сдвига по фазе между током и напряжением, создаваемое данной установкой во времени.

2) Средневзвешенное значение коэффициента мощности ($\cos\varphi_{св}$). Величина $\cos\varphi_{св}$ дает усредненное значение коэффициента мощности установки за период времени.

3) Естественный коэффициент мощности. За величину естественного коэффициента мощности принимают его значение без учета работы специальных компенсирующих устройств таких, как, например, синхронные компенсаторы и конденсаторы.

Естественный коэффициент мощности может характеризоваться как текущим, так и средневзвешенным значением.

4) Общий коэффициент мощности ($\cos\varphi_{об}$). За величину общего коэффициента мощности $\cos\varphi_{об}$ принимают его значение с учетом работы компенсирующих устройств. Так же как и естественный коэффициент мощности, $\cos\varphi_{об}$ может характеризоваться как текущим, так и средневзвешенным значением.

Соотношение

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}, \quad (2)$$

в качестве нормативного не дает четкого представления о динамике изменения реального значения реактивной мощности. При изменении коэффициента мощности с 0,95 до 0,94 реактивная мощность изменяется на 10 %, а при изменении этого же коэффициента с 0,99 до 0,98 приращение реактивной мощности составляет 42 %.

При расчетах удобнее оперировать соотношением

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P}, \quad (3)$$

называемое коэффициентом реактивной мощности.

1.2 Устройства для компенсации реактивной мощности

КРМ (УКМ 58, АКУ, УКРМ)-0,4 кВ - низковольтная установка компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности с помощью низковольтных КРМ (аналог УКМ 58, АКУ, УКРМ) - 0,4 кВ реактивной мощностью от 10 до 6 000 квар оснащенные автоматическим регулятором для компенсации реактивной мощности.

Конденсаторные установки для компенсации реактивной мощности с фильтрами гармоник. КРМФ

Конденсаторная установка, подключаемая к СЭСП, образует, вместе с силовым трансформатором резонансный контур, который может оказаться, настроен на одну из гармоник присутствующих в сети. В случае возможности резонансных явлений, применение автоматических конденсаторных установок возможно только с фильтрующими дросселями на каждой ступени - КРМФ, ДФКУ, АФКУ, УКМФ.

КРМ (УКЛ 56, УКЛ 57)-6,3 (10,5) кВ - высоковольтная нерегулируемая установка компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности, осуществляемая на базе высоковольтных конденсаторных установок, применяется в электросетях 6,3/10,5/35 кВ с высоковольтной нагрузкой. Конденсаторные установки компенсации реактивной мощности высоковольтные КРМ (аналог УКЛ 56, УКЛ 57) - 6,3/10,5/35 кВ производятся на реактивные мощности от 150 до 50 000 кВАр. Компенсация реактивной мощности происходит в ручном режиме, путем подключения необходимого числа батарей косинусных конденсаторов. Высоковольтные установки компенсации реактивной мощности производятся на базе компенсационных конденсаторов ведущих мировых производителей, имеют срок службы более 250 тыс. часов - 25 лет.

КРМ 1 (УКРМ) - 6,3 (10,5) кВ - высоковольтная регулируемая установка компенсации реактивной мощности

Регулируемая установка компенсации реактивной мощности в автоматическом режиме, под управлением микропроцессорного регулятора реактивной мощности улучшает $\cos\varphi$ ($\operatorname{tg}\varphi$), путем подключения/отключения необходимого числа бата-

рей конденсаторов. Установки компенсации реактивной мощности производятся с шагом от 20 до 450 квар и суммарной мощностью до 100 Мвар.

Тиристорные конденсаторные установки

Конденсаторные установки с тиристорными ключами применяются в цехах с резкопеременной нагрузкой. К таким относятся цеха с большим количеством подъемно-транспортных механизмов, штамповочных установок и прессов, сварочных аппаратов. В отличие от установок с контакторами тиристорные конденсаторные установки обладают быстродействием на 2 порядка выше. В тиристорных установках после подачи сигнала на коммутацию тиристор «сам выбирает» время подключения в момент, когда напряжение в сети и на конденсаторе равны. Задержка включения составляет не более 20 мс. При этом следует отметить, что конденсаторы подключаются без пусковых токов. Это продлевает срок службы конденсаторов. В связи с отсутствием движущихся механических контактов тиристорные конденсаторные установки имеют большой ресурс. Для защиты тиристоров применяются специальные быстродействующие предохранители Их назначение при любых перегрузках разорвать цепь раньше, чем ток через тиристоры достигнет недопустимой для них величины.

SVC. Статическая вар-компенсация реактивной мощности. БСК. Батареи статических конденсаторов. 0,4 – 6 - 10 кВ

Батареи статических конденсаторов мощностью от 10 до 200 МВАр производятся на базе косинусных однофазных конденсаторов, путем параллельно – последовательного соединения их в звезду или треугольник в зависимости от режима работы нейтрали. Внедрение батарей статических конденсаторов позволяет увеличить напряжение на шинах СПП на 3-4 %, снизить потери в сетях 6 - 110 кВ. БСК позволяют скорректировать перетоки реактивной энергии, выдавать реактивную мощность и поддерживать желаемое напряжение.

DCRK (Б2201) - регулятор для компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности в автоматическом режиме осуществляется с помощью регулятора реактивной мощности DCRK. Регулятор разработан ведущими европейскими лабораториями для установок компенсации реактивной мощности.

Параметры компенсации реактивной мощности в сети: напряжение, ток, мощность, коэффициент мощности и т.д. могут выводиться на ПК через интерфейс RS-232/485.

Косинусные (фазовые) конденсаторы для компенсации реактивной мощности.

Косинусные, фазовые конденсаторы для компенсации реактивной мощности (КРМ), в том числе для местной корректировки коэффициента мощности (подключение конденсаторов параллельно двигателям и т.п.). Срок эксплуатации более 100 000 часов. Конденсаторы для компенсации реактивной мощности производятся на напряжения от 0,4 до 10,5 кВ и мощности до 700 квар.

1.3 Компенсация реактивной мощности в сети 0,4 кВ

На промышленных предприятиях большая часть потребителей реактивной мощности располагается в сети напряжением до 1 кВ. Коэффициент мощности низковольтной нагрузки ($\cos\varphi$) не превышает 0,8. Сети напряжением 380-660 В электрически более удалены от источников питания, поэтому передача реактивной мощности в низковольтную сеть требует увеличения сечений проводов и кабелей, повышения мощности силовых трансформаторов и сопровождается потерями активной и реактивной мощности. Затраты, обусловленные перечисленными факторами, можно уменьшить если осуществлять компенсацию реактивной мощности непосредственно в цеховой сети.

Источниками реактивной мощности в низковольтной сети являются синхронные двигатели напряжением 380-660 В и конденсаторные батареи. Остальная часть реактивной мощности передается из высоковольтной сети.

При решении задачи компенсации реактивной мощности требуется установить оптимальное соотношение между источниками реактивной мощности на сторонах низкого и высокого напряжений, принимая во внимание потери электроэнергии на генерацию реактивной мощности источниками низкого и высокого напряжений, потери электроэнергии на передачу из сети ВН в сеть НН и удорожание цеховых ТП в случае загрузки их реактивной мощностью.

Выбор оптимальной мощности низковольтной батареи конденсаторов (НБК) осуществляют одновременно с выбором цеховых ТП. Расчетную мощность НБК округляют до ближайшей стандартной мощности комплектных конденсаторных установок (ККУ).

Для каждой цеховой ТП рассматривают возможность распределения найденной мощности НБК в цеховой сети. Критерием целесообразности такого решения является снижение приведенных затрат, обусловленное разгрузкой сети НН от реактивной мощности.

Если распределительная сеть выполнена только кабельными линиями, то ККУ любой мощности рекомендуется присоединять непосредственно к шинам цеховой ТП. При питании от одного трансформатора двух и более магистральных шинопроводов к каждому из них присоединяют только по одной НБК. Общую расчетную мощность батарей $Q_{нк}$ распределяют между шинопроводами пропорционально их суммарной нагрузке.

На одиночном магистральном шинопроводе предусматривают установку не более двух близких по мощности ККУ суммарной мощностью в квар, определяемой

$$Q_{нк} = Q_{нк1} + Q_{нк2}. \quad (4)$$

Если основные реактивные нагрузки шинопровода присоединены ко второй его половине, устанавливают только одну НБК. Точку ее подключения определяют из условия

$$Q_h \geq Q_{нк}/2 \geq Q_{h+1}. \quad (5)$$

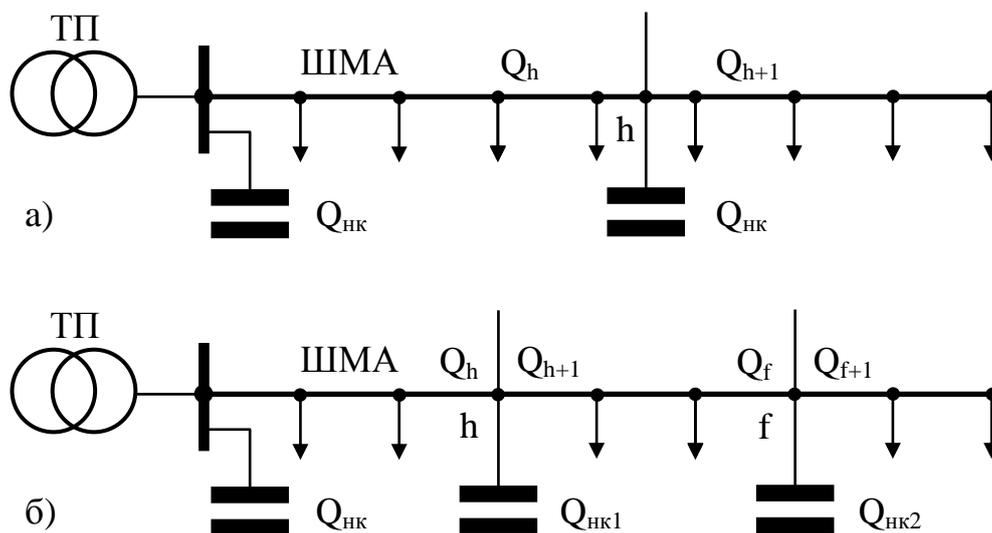
где Q_h, Q_{h+1} — наибольшие реактивные нагрузки шинопровода перед узлом h и после него соответственно.

При присоединении к шинопроводу двух НБК точки их подключения находят из следующих условий: точка подключения дальней НБК (рисунок 1, а)

$$Q_f \geq Q_{нк.д} \geq Q_{f+1}; \quad (6)$$

точка подключения ближней к трансформатору НБК (рисунок.1, б)

$$Q_h - Q_{нк.д} \geq \frac{Q_{нк.б}}{2} \geq Q_{h+1} - Q_{нк.д}. \quad (7)$$



а - одна НБК; б - две НБК

Рисунок 1 - Схема подключения НБК к магистральным шинпроводам

1.4 Описание лабораторной установки РССЭС1-Н-Р

Лабораторная установка представляет собой комплект типового лабораторного оборудования РССЭС1-Н-Р (настольное исполнение, ручная версия), предназначенного для проведения лабораторных занятий по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий».

В настольной раме смонтированы аппаратные модули в составе, приведенном в таблице 1.

Таблица 1 - Состав оборудования стенда

Тип аппаратуры	Название
509.2	Блок мультиметров
507.2	Измеритель мощностей
218.2	Однофазный источник питания
359	Автоматический однополюсный выключатель
372.1	Однофазный трансформатор
306.4	Активная нагрузка
324.4	Индуктивная нагрузка
317.3	Емкостная нагрузка

Для выполнения электрических соединений прилагается комплект проводников различной длины красного, черного и желтого с зеленой полоской цветов и U-образных перемычек. Проводники красного и черного цвета и перемычки предназначены для выполнения основных соединений элементов схемы, желтые с зеленой полоской для устройства защитного заземления модулей стенда служащего защитой оператора от поражения электрическим током. Наконечники проводников и перемычек выполнены с безопасными разъемами.

Общий вид лабораторной установки приведен на рисунке 2.

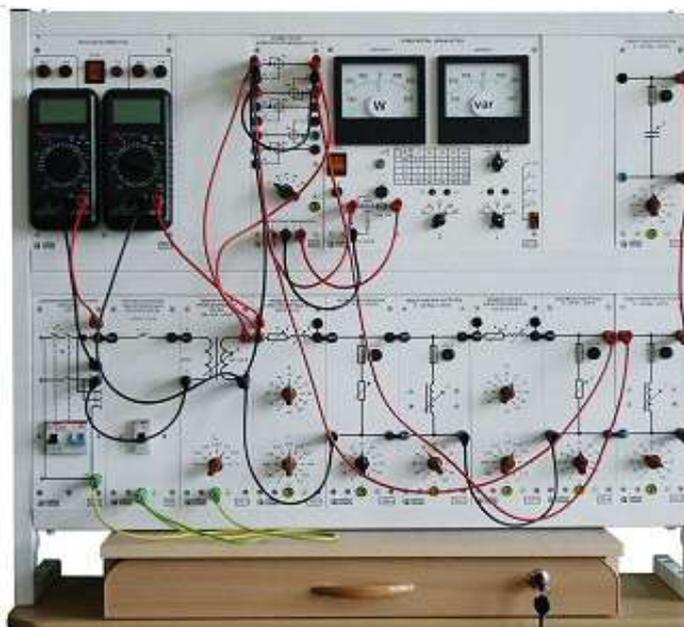


Рисунок 2 - Лабораторная установка РССЭС1-Н-Р

1.5 Основные приемы работы со стендом

Перед выполнением любых коммутаций следует убедиться, что однофазный источник питания выключен.

При выполнении лабораторной работы студент, являющийся оператором стенда, соединяет согласно схеме аппаратные модули. Для этого наконечники проводников соответствующей длины или перемычки вставляются с небольшим усилием в гнезда. При этом стенд можно придерживать за раму.

Проводники можно соединять между собой. Присоединение двух и более проводников к одному разъему выполняется при помощи безопасных наконечников

проводников. Присоединение мультиметров следует выполнять проводниками с безопасными наконечниками, входящими в комплект стенда.

1.6 Ход работы

Для выполнения измерений потребуется собрать испытательную установку, согласно схеме соединения блоков стенда, показанной на рисунке 3.

Измерения выполняют в три этапа.

Первый этап – построение графика нагрузки без компенсации реактивной мощности, согласно варианта индивидуального задания. Процедура построения графика приведена в лабораторной работе №1. В отчет добавляется график активной, реактивной и полной нагрузки без компенсации реактивной мощности.

Второй этап – полная компенсация реактивной мощности. При помощи блока емкостной нагрузки для каждой ступени графика опытным путем устанавливается мощность батареи конденсатора, полностью компенсирующая всю реактивную нагрузку, создаваемую электроприемниками группы. Контроль ведется по варметру измерителя мощностей. В отчет добавляется график активной, реактивной и полной нагрузки с учетом компенсации реактивной мощности, выполненный на одной координатной плоскости.

Третий этап – компенсация базовой части графика нагрузки нерегулируемой батареей конденсаторов. Для выполнения этого этапа на графике реактивной нагрузки без компенсации реактивной мощности, полученном на первом этапе, выделяется базовая часть, представляющая собой неизменную часть графика. Пример выделения базовой части показан на рисунке 4.

Ориентируясь на величину базовой части, используя каталог производителя компенсирующих устройств, подбирают нерегулируемую батарею конденсаторов.

В отчет добавляется график активной, реактивной и полной нагрузки, выполненный на одной координатной плоскости.

Коэффициенты трансформации силового трансформатора, трансформатора тока, измерителя мощностей и расчетное напряжение приведены в таблице 3.

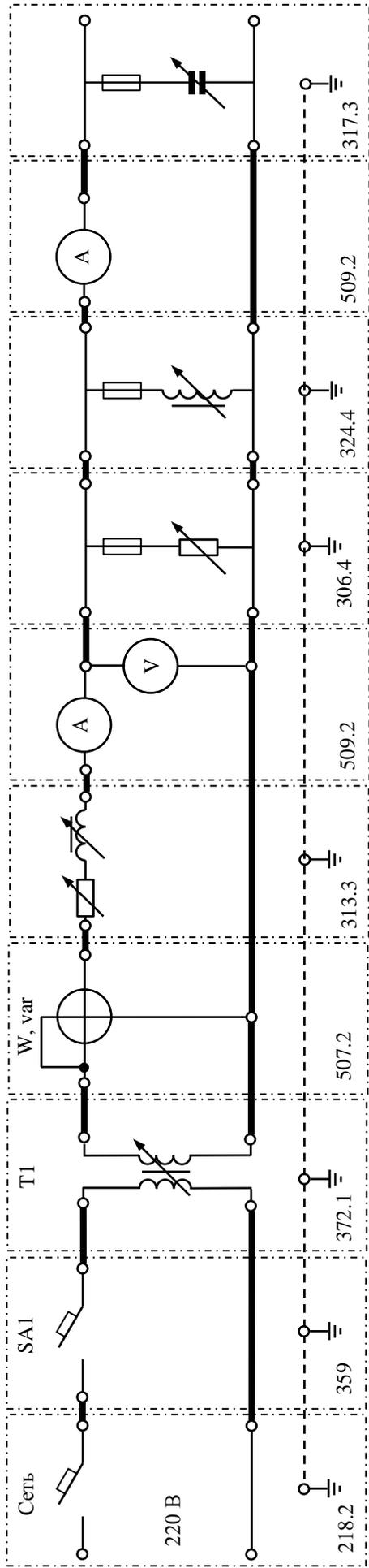


Рисунок 3 - Схема соединений блоков стенда для опытного определения емкости конденсаторных батарей

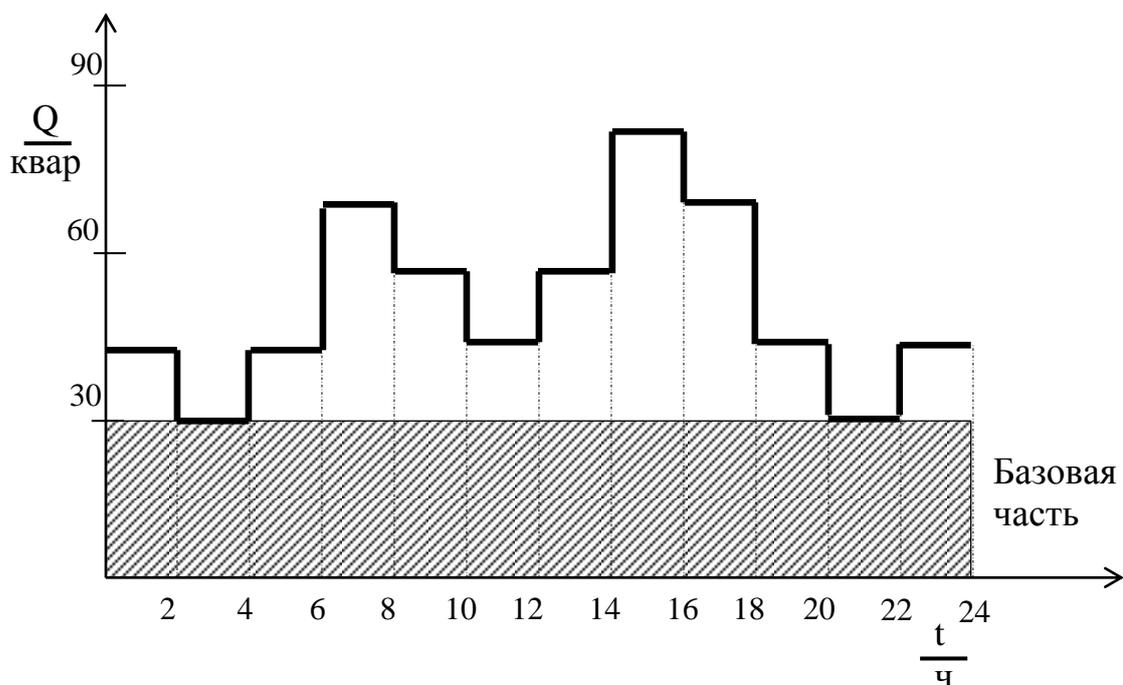


Рисунок 4 – Выделения базовой части графика реактивной нагрузки.

Дополнительное задание – моделирование режима «перекомпенсации». Установив переключатель мощности батареи конденсаторов в режим максимальной генерации для всего графика нагрузок наблюдается режим перекомпенсации реактивной мощности. Строится соответствующий график нагрузки.

Результаты опытов на различных этапах вносятся в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты измерений

Задаваемые значения										
Коэффициент трансформации Т1						Коэффициент трансформации Т измерителя мощностей				
Показания приборов						Расчетные данные				
Часы суток	P, Вт	Q, вар	Uн, В	Iс, А	C, %	S, ВА	cosφ	tgφ	Iн, А	ΔP, Вт

Для оформления таблицы и выполнения расчетов рекомендуется использовать табличный процессор Excel. При использовании коэффициентов трансформации трансформаторов тока измерителя мощностей, измеренные и расчетные величины могут быть выражены в тысячах единиц (приставка кило-).

Вычисляется:

полная мощность, В·А

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

коэффициент мощности

$$\cos\varphi = \frac{P}{S};$$

и

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P};$$

ток нагрузки группы электроприемников, А

$$I_H = \frac{S}{\sqrt{3}U_H}.$$

Таблица 3 - Коэффициенты трансформации силового трансформатора, трансформатора тока, измерителя мощностей и расчетное напряжение

Показатель	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_{\text{тр}} T1$	1	1	1	1	1	1	1	1
$K_{\text{тр}} W, \text{var}$	800	1000	1200	1500	2000	3000	4000	5000
$U_{\text{расч}}, K\phi$	220	220	220	220	220	220	220	220

2 Варианты индивидуальных заданий

Вариант	1		2		3		4		5		6		7		8	
Часы суток	P,%	Q,%														
1	90	30	40	50	40	50	40	10	70	80	40	30	70	30	60	70
2	80	20	40	50	30	50	30	20	60	80	30	20	80	30	50	70
3	90	40	40	50	20	50	20	10	40	70	30	10	70	30	40	70
4	90	40	40	50	40	50	10	10	40	70	30	0	60	20	50	70
5	90	40	40	50	40	50	20	20	30	60	20	10	70	20	60	70
6	90	40	50	60	50	50	30	10	40	70	30	20	80	30	60	70
7	80	30	50	60	60	50	40	10	30	60	50	30	70	20	70	80
8	90	40	50	60	80	90	60	30	80	90	90	40	80	40	80	80
9	100	50	50	60	100	100	90	40	90	100	100	70	90	50	90	80
10	90	40	60	70	100	100	100	50	100	100	100	70	100	70	100	90
11	90	60	60	70	90	90	90	40	80	90	90	50	90	60	100	90
12	80	50	60	70	80	70	70	30	70	80	80	40	80	50	70	80
13	90	30	60	70	50	80	60	40	80	90	90	50	90	60	80	90
14	90	40	60	70	70	90	90	50	90	90	90	40	70	50	80	90
15	90	50	60	70	90	100	80	40	100	100	80	30	60	40	100	100
16	100	60	60	70	80	90	70	30	80	90	90	50	70	50	100	100
17	90	30	40	50	70	80	60	40	60	60	100	50	80	60	80	90
18	100	20	60	60	80	90	70	30	70	80	100	40	70	50	100	100
19	90	20	60	60	90	100	60	30	80	90	90	30	60	40	100	100
20	90	40	60	60	100	100	50	20	80	90	100	40	70	30	90	100
21	100	50	60	60	100	90	60	10	70	80	90	30	80	40	90	100
22	100	50	60	50	90	80	70	40	80	90	80	20	70	30	80	80
23	90	40	50	50	70	80	50	20	90	100	40	30	60	20	60	70
24	80	30	40	50	50	60	40	10	70	80	40	30	60	20	60	70

3 Контрольные вопросы

- 1 Поясните физический смысл реактивной мощности в электрической сети.
- 2 Поясните роль реактивной мощности для электроприемников предприятия (на примере статической устойчивости в узле нагрузки).
- 3 Назовите основные потребители реактивной мощности в цехе промышленного предприятия.
- 4 Назовите источники реактивной мощности для сетей промышленного предприятия.
- 5 Перечислите достоинства и недостатки основных источников реактивной мощности.
- 6 Что называется компенсацией реактивной мощности?
- 7 В чем заключается задача компенсации реактивной мощности?
- 8 Перечислите способы снижения потребления реактивной мощности без использования компенсирующих устройств.
- 9 Задача выбора места установки компенсирующего устройства в цехе промпредприятия.

4 Литература, рекомендуемая для изучения темы

- 1 Мельников, М.А. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие /М.А. Мельников – Томск: Изд. ТПУ, 2002. -143 с.
- 2 Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров. 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергия, 1972. - 416 с.
- 3 Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. учеб. пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

Список использованных источников

1 Сенигов, П.Н. Качество электрической энергии в системах электроснабжения. руководство по выполнению базовых экспериментов КЭЭСЭС.001 РБЭ (935) / П.Н. Сенигов – Челябинск: ИПЦ «Учебная техника», 2007. – 22 с.

2 Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. учеб. пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.

3 Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий /А.А. Федоров 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Энергия, 1972. - 416 с.

4 Сайт компании «Матик-Электро» – Режим доступа: <http://www.matic.ru/>.