

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
SATBAYEVUNIVERSITY

Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

Абдалиев Ерлан Жандосұлы

Применение компенсаторов реактивной мощности в системах
электрообеспечения

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071800 – «Электроэнергетика»

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
SATBAYEVUNIVERSITY

Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,
PhD, ассоц. профессор



_____ Е.А.Сарсенбаев
«_10_»_06_____2021 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Применение компенсаторов реактивной мощности в системах
электрообеспечения

Специальность 5В071800 – «Электроэнергетика»

Выполнил



Абдалиев Е.Ж.

Научный руководитель
ассистент - профессор



_____ А.А.Жуматова
«10» июнь 2021г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
SATBAYEVUNIVERSITY

Институт промышленной автоматизации и цифровизации имени А.Буркитбаева

Кафедра «Энергетика»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой,
PhD, ассоц.профессор



Е.А.Сарсенбаев

« 14 » 05 2021 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Абдалиеву Ерлан Жандосұлы

Тема: «Применение компенсаторов реактивной мощности в системах электроснабжения».

Утверждена приказом проректора университета №345 - П от «14» мая 2021 г.

Срок сдачи законченной работы «11» июня 2021 г.

Исходные данные к дипломной работе: *Потребители реактивной мощности, асинхронные электродвигатели, трансформаторы. Источники реактивной мощности, синхронные компенсаторы, синхронные двигатели, статистические конденсаторы. Выбор числа и мощности трансформаторов.*

Перечень подлежащих разработке вопросов или краткое содержание дипломной работы:

- а) Понятие реактивной мощности;*
- б) Потребители реактивной мощности;*
- в) Источники реактивной мощности;*
- г) Экономическое обоснование использования компенсаторов*

Рекомендуемая основная литература: 13 наименований.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Поиск литературы	24.02.2020г.	Выполнено
Теоритическая часть	04.03.2020г.	Выполнено
Составление схем	25.03.2020г.	Выполнено
Технико-экономический расчёт	14.04.2020г.	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Научный руководитель и консультанты	Дата подписания	Подпись
Аналитическая часть	Жуматова А.А., ассистент-профессор	25.05.2020г.	
Практическая часть	Жуматова А.А., ассистент-профессор	10.06.2020г.	
Нормаконтроль	Бердибеков А.О., сениор-лектор	08.06.2020г.	

Научный руководитель  _____ Жуматова А.А

Задание принял к исполнению обучающийся  _____ Абдалиев Е.Ж.

Дата « 11 » 06 2021 г.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе были разобраны понятия о компенсации реактивной мощности. Были изучены источники и потребители реактивной мощности, был изучен вопрос необходимости компенсации реактивной мощности. А так же разумное применение компенсаторов реактивной мощности в системах электроснабжения, в частности для агломерационных предприятий.

Был составлен технико-экономический расчёт, подбор необходимых элементов для систем электроснабжения.

ANNOTATION

In the thesis, the concepts of reactive power compensation were analyzed. The sources and consumed reactive power were studied, the issue of the need for reactive power compensation was studied. As well as the reasonable use of reactive power compensators in power supply systems, in particular for agglomeration enterprises. A feasibility study was drawn up, the selection of the necessary elements for power supply systems.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыста реактивті қуат компенсациясы ұғымдары талданды. Пайдаланылатын реактивті қуат көздері мен зерттелді, реактивті қуаттың орнын толтыру қажеттілігі туралы мәселе зерттелді. Сондай-ақ, электрмен жабдықтау жүйелерінде, атап айтқанда, агломерация кәсіпорындары үшін реактивті қуат компенсаторларын орынды пайдалану. Электрмен жабдықтау жүйелеріне қажетті элементтерді таңдау, техникалық-экономикалық негіздеме жасалды.

Содержание

Введение.....	6
Теоретическая часть	
1.1 Понятие о реактивной мощности	7
1.2 Особенности передачи реактивной мощности по электрическим сетям.....	8
1.3 Эффективность компенсации реактивной мощности.....	10
2. Потребители реактивной мощности	11
2.1 Общая характеристика потребителей реактивной мощности.....	17
2.2 Асинхронные электродвигатели	19
2.3 Трансформаторы	20
3 Источники реактивной мощности.....	21
3.1 Общая характеристика источников реактивной мощности.....	22
3.2 Синхронные компенсаторы.....	23
3.3 Синхронные двигатели.....	24
3.4 Статические конденсаторы.....	26
3.4.1 Конденсаторные установки общего назначения.....	27
3.5 Статические компенсирующие устройства.....	29
4 Выбор средств компенсации реактивной мощности.....	30
4.1 Выбор средств компенсации реактивной мощности.....	31
4.2 Технико-экономическое обоснование выбора КУ.....	33
Заключение.....	34
Список использованной литературы.....	35
Приложения.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Все большее значение приобретает разумное применение электроэнергии, о чем следует помнить при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения промышленных предприятий. Обзор потребления электроэнергии промышленными компаниями показывает, что основные пути снижения электрической энергии заключаются в компенсации реактивной мощности при одновременном возрастании качества электроэнергии, потребляемой естественно в сетях компаний. Потребляемая реактивная мощность приводит к максимальному снижению потерь нагрузки на 0.1 кВт на всякую потребляемую реактивную мощность. Увеличение компенсации до 0.4 - 0.5 квар/кВт разрешает снизить потери, снизить цены на электроэнергию, что значительно в рыночной экономике. Проблемная задача компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий, в особенности в части электромагнитной совместимости приемников энергии с питающей сетью, является одной из самых востребованных проблем на сегодняшний день.

В пособии дан анализ потребителей и источников реактивной мощности, рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий, в том числе и с несинусоидальной нагрузкой, в соответствии с «Указаниями по проектированию компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий» и ГОСТ 13109-97.

1 Реактивная мощность в системах электроснабжения промышленных предприятий

1.1 Понятие о реактивной мощности

Работа электрических машин, а так же аппаратов переменного тока, которая основанная на принципе электромагнитной индукции, сопровождается таким процессом непрерывного изменения магнитного потока в данных магнитопроводах и полях их рассеяния. При работе данных электроприемников их обмотки в определенный период времени изначально запасают энергию в виде магнитного поля, а после чего отдают её источнику. На рисунке.1.1 наблюдаем диаграммы протекавшего по обмотке данного электроприемника тока i и соответствующего ему изменения энергии W_m магнитного поля. Если ток изменяется по синусоидальному закону $I=I_m \sin \omega t$, тогда энергия магнитного поля будет меняться с двойной частотой $W_m = LI_m^2(1 - \cos 2\omega t)$, где L – в данном случае обмотка индуктивности электроприёмника. На участках 0-1, а так же 2-3 ток i увеличивается, и сохраняемая обмоткой магнитная энергия W_m увеличивается, а на участках 1-2, а так же 3-4 ток i снижается и уменьшается сохранённая магнитным полем обмотки энергия W_m . Два раза за один и тот же период изменения тока i энергия W_m используется электроприемником от источника и два раза за данный период возвращается магнитному полю. За счет данной энергий происходит намагничивание магнитных сердечников или же магнитопроводов электроприемников, то есть получается магнитное поле, из-за которого и функционируют электроприемники. Эта энергия считается реактивной, и этот процесс характеризуется реактивной мощностью, которая при синусоидальном напряжении $U=U_m \sin \omega t$ и в токе $i=I_m \sin(\omega t + \phi)$ можно определить следующим соотношением.

$$Q = \frac{U_m I_m}{2} \sin \phi = UI \sin \phi \quad (1.1)$$

В данной формуле ϕ это угол сдвига тока относительно напряжению. U & I это значения действующие. Обозначают ток и напряжение. Так получается реактивная мощность (РМ) характеризует бесперебойный обмен электромагнитной энергией между электроприемниками и его источниками. Активная мощность в цепи однофазного тока, как известно, определяется по следующей формуле

$$P = UI \cos \phi \quad (1.2)$$

На рисунке.1.2 видно векторную диаграмму, из которой мы наблюдаем, что полный ток I в декартовой системе координат можно разложить на активную I_a и реактивную I_p составляющие.

Отсюда следует.

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} \quad (1.3)$$

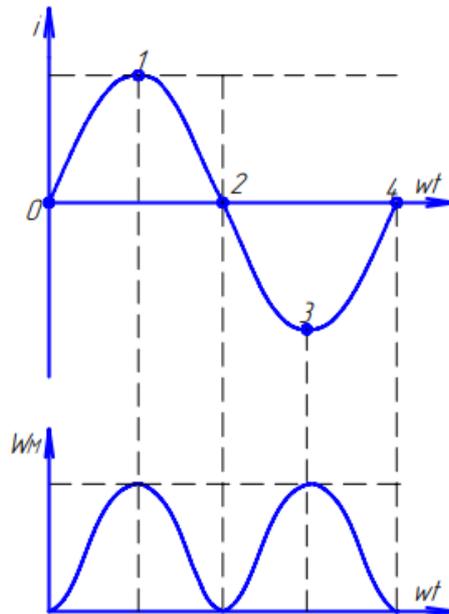


Рисунок.1.1 – ток протекающий в обмотках

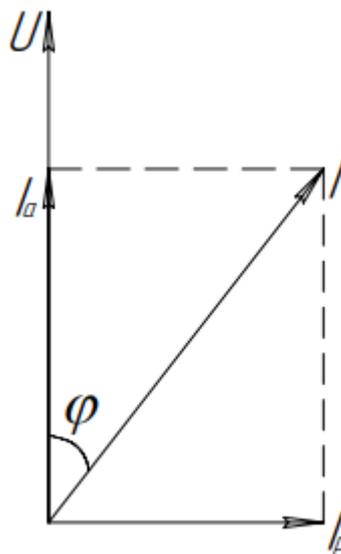


Рисунок.1.2 – активная и реактивная составляющая.

Для трехфазных сети РМ электроприемника определяем по следующей формуле

$$Q = \sqrt{3}U_{л}I_{л}\sin\phi \quad (1.4)$$

Где $U_{л}$ и $I_{л}$ это действующие линейные напряжения и тока.

Стоит отметить, что разница от мгновенной активной мощности понятие мгновенной РМ лишено смысла и в этом причина почему не используется. Но поскольку есть понятие РМ, то используется и измеряется потребляемая реактивная энергия

$$W_p = \int_0^t Q(t)dt \quad (1.5)$$

Различие от активной мощности, полезна тем что используется электроприемниках, РМ не выполняет полезной работы, она используется для того чтобы создать магнитные поля. Реактивная мощность определяется для первых гармоник напряжений а так же токов, и из-за этого при расчетах нелинейных цепей когда происходит синусоидальное напряжения и несинусоидальный ток реактивная мощность для высших гармоник не находится.

1.2 Особенности передачи реактивной мощности по электрическим сетям

Режимы работы в системах электроснабжения промышленных предприятий сокращённо (СЭСПП) можно охарактеризовать следующими величинами: напряжениями в узлах нагрузки U_i ; токами в ветвях I_i ; потерями активной ΔP_i и реактивной ΔQ_i мощностей; потерями напряжения ΔU_i и др. Эти величины зависят от продольных сопротивлений $Z=R+jX$ элементов СЭС (ЛЭП, силовых трансформаторов, реакторов и других), и ещё от активной P_i и реактивной Q_i мощностей, которые передаются через эти элементы. Передача активной и реактивной мощностей по следующим элементам СЭСПП имеют некоторые особенности:

а) Мощность в начале линии P_1+jQ_1 отличается от мощности в конце линии P_2+jQ_2 на величину потерь мощности, активная и реактивная составляющие которых определяется по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{P_2^2+Q_2^2}{U_2^2} R = \frac{P_2^2}{U_2^2} R + \frac{Q_2^2}{U_2^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p \\ \Delta Q &= \frac{P_2^2+Q_2^2}{U_2^2} X = \frac{P_2^2}{U_2^2} X + \frac{Q_2^2}{U_2^2} X = \Delta Q_a + \Delta Q_p \end{aligned} \quad (1.6)$$

Из данных выражений видно, что потери как активной, также и реактивной мощности можно разделить на две части, обусловленные соответственно потоками активной и реактивной мощностей по элементу СЭС который мы рассматриваем

б) Напряжение в начале линии и в конце линии U_1 U_2 связано со следующим соотношением. $\Delta Q = \sqrt{U_2^2 + \Delta U'^2} + (\Delta U'')^2$ где $\Delta U'$ и $\Delta U''$ - продольные и поперечные составляющие вектора падения напряжения, определяемые по следующим формулам:

$$\Delta U' = \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} = \Delta U'_a + \Delta U'_p$$

$$\Delta U'' = \frac{P_2 R + Q_2 X}{U_2} = \Delta U''_a + \Delta U''_p \quad (1.7)$$

Обычно $X > R$ для сетей высокого напряжения, поэтому $\Delta U'$ определяется в основном слагаемым $Q_2 X$, а $\Delta U''$ - слагаемым $P_2 X$. Влияние $\Delta U''$ на напряжение U_2 у потребителя мало, т.к. $U_2 \gg \Delta U''$. А это означает, что уровни напряжений в разных точках СЭС намного слабее зависимы от передаваемой активной мощности и зачастую определяются реактивной составляющей. Математическую разницу между напряжениями в начале и концах линии называют потерей напряжения:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx \Delta U'$$

Промышленное или индустриальные предприятие (ПП) зачастую имеют переменный режим потребления активной и реактивной мощностей. Утром и вечером наблюдается максимумы электрических нагрузок, а ночью - их минимумы. При этом на большинстве промышленных предприятий из-за отсутствия автоматического регулирования мощностей КУ, не отключаются от сети.

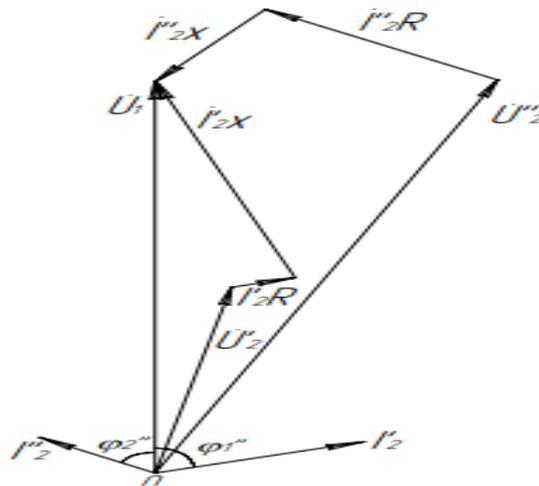


Рисунок 1.3 – векторная диаграмма напряжений и токов

На рисунке.1.3 наблюдается векторная диаграмма напряжений и токов для электрической линии, в начале которой напряжение U_1 не меняется. При максимальных электрических нагрузках, ток I'_2 носит индуктивный характер, и напряжение U'_2 в конце линии меньше напряжения U_2 в начале линии. При минимальных электрических нагрузках, когда реактивная мощность, генерируемая

КУ на ПП, оказывается значительно больше РМ, потребляемой ПП, ток I'_2 будет идти на опережение. В этом случае напряжение U'_2 в конце линии может не только быть равным с напряжением U_1 , но и превышать его. Если не принимать мер по урегулированию напряжения U_1 или U_2 , то значительное увеличение напряжения на зажимах электроприемников может оказывать на них ухудшающее действие.

4. Дополнительная нагрузка реактивной мощностью элементов СЭС ухудшает их пропускную способность.

1.3) Эффективность компенсации реактивной мощности

Для анализа этих условий компенсации РМ мы рассмотрим цепь переменного тока (рис.1.4,а), которая состоит из сопротивлений линии электропередачи R и X, сопротивлений нагрузки потребителя R_n , X_n и сопротивления $X_{БК}$ - батареи конденсаторов. На рис.1.4, б показана векторная диаграмма напряжений и токов в конце линий. Ток нагрузки потребителя I_n имеет активную $I_{n.a}$ и индуктивную $I_{n.u.}$ составляющие и отстает на угол ϕ_2 от вектора напряжения U_2 в конце линии.

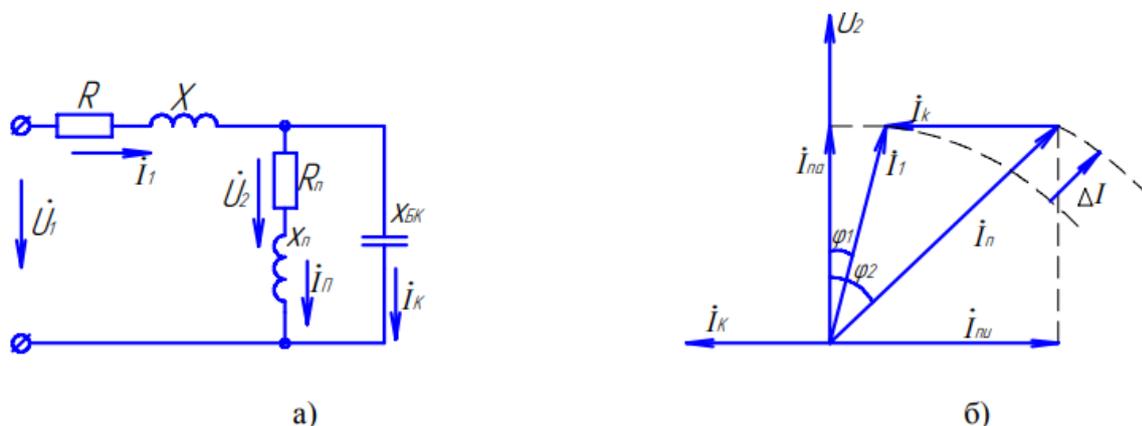


Рисунок.1.4 – цепь переменного тока

1) При подключении КУ, параллельно к потребителю, ток нагрузки в конце линии станет меньше на величину

$$\Delta I = I_n - I_1$$

И становится равным

$$I_1 = \frac{\sqrt{P^2 + (Q - Q_k^2)}}{\sqrt{3}U_2} = \frac{P}{\sqrt{3}U_2} \sqrt{1 + tg^2 \phi_1} \quad (1.8)$$

ϕ_1 это угол сдвига между напряжением и током в началах линий. Это позволит разгрузить ЛЭП или сократить сечение проводов или кабелей на величину

$$\Delta F = \frac{I_{II} - I_1}{j_3} \quad (1.9)$$

где j_3 - экономическая плотность тока. Соответственно можно снизить установленную мощность трансформаторов, то есть снижаются капитальные затраты на сеть которую проектируем. Если сеть уже существует, то компенсация реактивной мощности позволит повысить ее пропускную способность по активной мощности, что также очень важно. Эффективность компенсации реактивной мощности проявляется при проектировании крупных промышленных предприятий, которые имеют цеха с большим числом понижающих трансформаторов: 6; 10/0,38; 0,66 кВ. Применяя компенсирующие устройства на напряжении 0,38 или 0,66 кВ, уменьшается число трансформаторов, примерно от 5 до 8 %, тем самым снижаются капитальные вложения в СЭС цеха.

2) При наличии компенсации РМ снижаются потери активной мощности и электроэнергии. Для элемента СЭС с активным сопротивлением R потери активной мощности составят

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_k)R}{U^2} = \Delta P + \Delta P_p(Q_k) \quad (1.10)$$

Зависимость, приведенная на рис.1.5, показывает, что перекомпенсация РМ ($Q_k > Q$) не только нецелесообразна, но и вредна, поскольку увеличиваются потери активной мощности по сравнению с их возможным минимумом ΔP_a .

3) При компенсации реактивной мощности снижается ее потери по формуле:

$$\Delta Q = \frac{P^2 + (Q - Q_k)X}{U^2} = \Delta Q_a + \Delta Q_p(Q_k) \quad (1.11)$$

Ступени высшего напряжения СЭСПП, где $X \gg R$, потери реактивной мощности могут сильно превышать потери активной мощности. Снижение потерь ΔP и ΔQ тем больше, чем ближе к потребителям реактивной мощности устанавливаются компенсирующие устройства.

$$\Delta U = \frac{PR + (Q - Q_k)X}{U_2} \quad (1.12)$$

На рисунке 1.5 демонстрируется векторная диаграмма для напряжений и токов двух случаев: при отсутствии (величины $U'_1 I'$) и присутствии (величины U''_1, I'', I_k) компенсации. Данная диаграмма построена для постоянных значений напряжения U_2 в конце линий электропередачи и активной мощности P

потребителя. Наличие у потребителя компенсирующих устройств с регулируемой реактивной мощностью позволяет осуществить с их помощью не только компенсацию реактивной мощности, а так же при нужности регулирование напряжения за счет того что изменяются потери напряжения в данных элементах СЭС. Получается, компенсация РМ повышает эффективность систем электроснабжения промышленных предприятий, потому что уменьшаются потери активной мощности и электроэнергии, потери РМ, улучшается режим работы СЭС ПП.

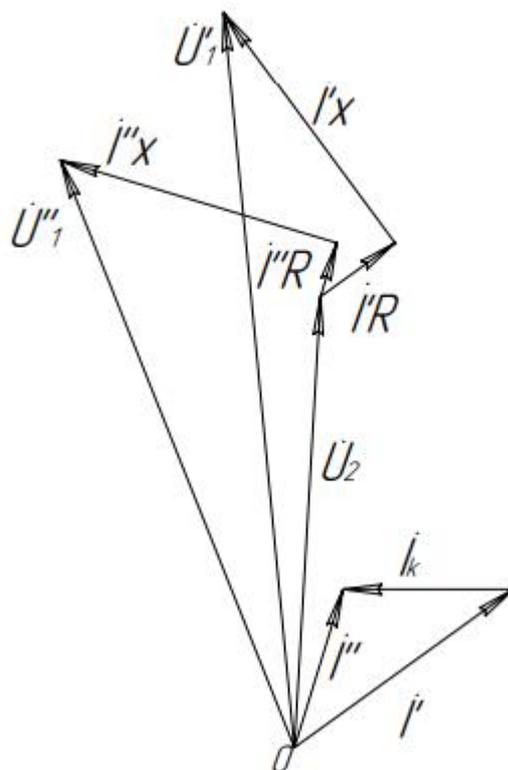


Рисунок 1.5 - векторная диаграмма соотношений U

2 Потребители реактивной мощности

1) Общие характеристики потребителей реактивной мощности
Реактивную мощность используют последующие электроприемники: асинхронные двигатели - 40%; силовые трансформаторы (от 3 до 5) от генераторов электростанций до потребителей электроэнергии - 35%; преобразователи вентильные - 10%; электротермические установки - 8%; ЛЭП (реактивные потери в них) — 7%. В целом величина используемой РМ катушкой индуктивности (обмоткой), имеющей магнитную систему (асинхронные двигатели, трансформаторы и др.), определяется соотношениями:

$$Q = \frac{3U_{\phi}^2}{X_{\phi}} = \frac{U_{л}^2}{X_{\phi}} = C_1 \frac{U_{л}^2}{f} R_{\mu} = C_2 \Phi_M^2 \oint R_{\mu} \quad (1.13)$$

где U_{ϕ} и $U_{л}$ - фазное и линейное, напряжения сети; X_{ϕ} - индуктивное сопротивление потребителя реактивной мощности; $C_1 = 1/(2\pi W)$ - это коэффициент пропорциональности; W - число витков обмотки, которые создают магнитный поток X_M ; f - линейная частота напряжения сети; R_{μ} — магнитное сопротивление пути магнитного потока; l и S - длина и сечение пути магнитного потока; μ это магнитная проницаемость материала в пути магнитного потока; $C_2=3\pi$ - коэффициент пропорциональности.

Из выражения (2.1) видно, что потребление РМ возрастает при увеличении напряжения питания U_1 и магнитного сопротивления R_M пути магнитного потока. Согласно (2.1) РМ пропорциональна квадрату приложенного напряжения. Но с увеличением напряжения увеличивается и магнитный поток Φ_M . Из-за этого происходит насыщение магнитной системы и уменьшение магнитной проницаемости μ . По этой причине с увеличением питающего напряжения РМ увеличивается более чем во второй степени. А так же, если магнитная цепь, по которой проходит магнитный поток, имеет воздушный зазор, то потребляемая реактивная мощность также резко увеличивается, так как магнитная проницаемость воздуха намного меньше, чем для электротехнической стали.

2.1 Асинхронные электродвигатели

Популярное применение асинхронные двигатели нашли во всех отраслях промышленности. АД использует из сети большое количество реактивной мощности. Одной из главной причин большого потребления РМ является то что у АД имеется воздушный зазор между ротором и статором. Пытаясь уменьшить величину воздушного зазора, будет повышаться стоимость АД, потому что увеличится магнитное притяжение и так же размеры станины и вала, ухудшается охлаждение, увеличивается требования к вибрациям, подшипниками, вибрациям. При увеличении напряжения выше номинального, используемая АД реактивная мощность увеличится более чем во второй степени. Изменение потребляемой РМ при изменении напряжения питания АД на единицу принято характеризовать частной производной $q = \frac{\partial Q}{\partial U}$. На рис. 2.1 приведены средние статические характеристики АД – зависимость относительной величины $\frac{Q}{Q_H}$ используемой реактивной мощностью относительно величины $\frac{U}{U_H}$ при разных коэффициентах β

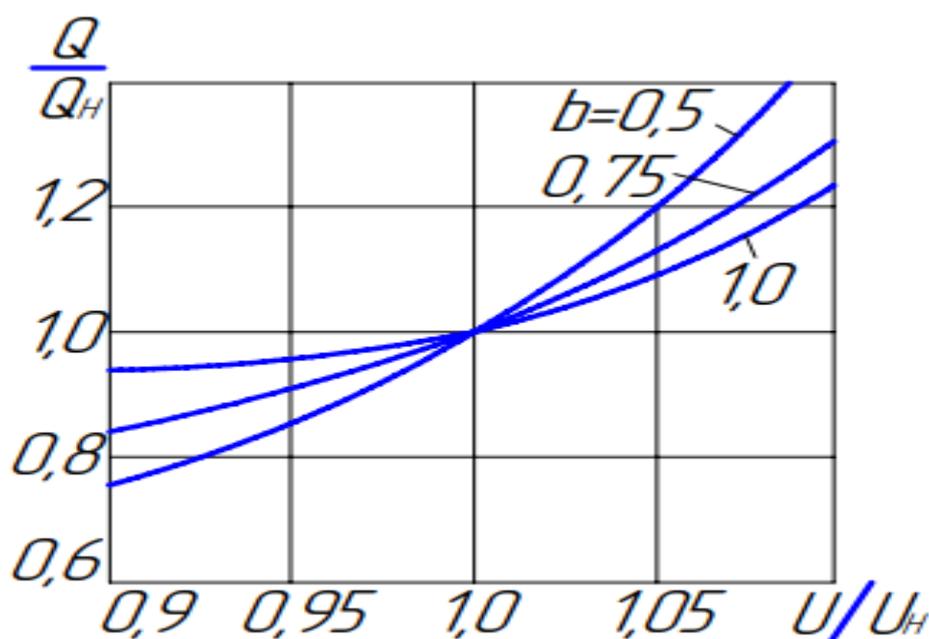


Рисунок 2.1 – средние статистические нагрузки

Для количественной оценки потребляемой РМ рассмотрим схему замещения АД (рис.2.2,а)

$$Q = 3(I_1^2 X_1 + I_0^2 X_0 + I_2^2 X_2) = Q_0 + Q_p = Q_0 + \beta^2 Q_{p.н.} \quad (2.1)$$

где I_1 , I_0 , I_2 - соответственно первичный ток, далее идёт ток холостого хода и последним приведенный вторичный; X_1 , X'_2 , X_0 - индуктивные сопротивления соответственно цепей первичной, вторичной обмоток АД и холостого хода; Q_0 , Q_p , $Q_{p.n.}$ - реактивные мощности холостого хода и рассеяния при текущем и номинальном значениях нагрузки; на рис. 2.2, а буквой S обозначено скольжение АД. Реактивная мощность Q_0 для асинхронного двигателя при номинальном напряжении почти неизменна, а мощность Q_p растет пропорционально квадрату коэффициента загрузки β (рис.2.2, б). При номинальной нагрузке обычно $Q_0 \approx Q_p$. Поэтому при изменении активной нагрузки АД от нуля до номинальной P_n реактивная мощность двигателя $Q_{ад}$ увеличивается примерно в два раза.

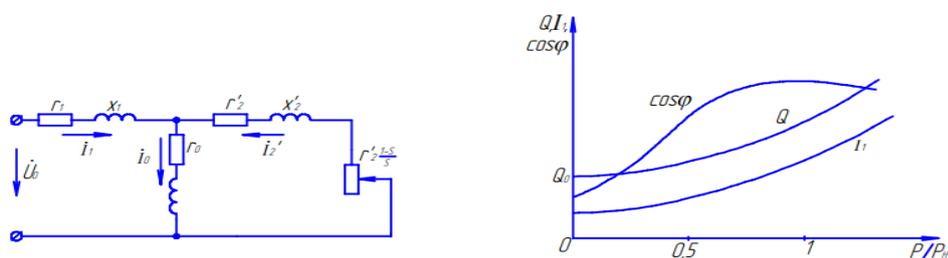


Рисунок 2.2- реактивные мощности холостого хода

Коэффициент мощности $\text{tg}\phi$ асинхронного двигателя (используемая РМ) меняется в больших пределах и зависит от номинальной мощности и частоты вращения ротора асинхронной машины, коэффициента загрузки и, как мы отметили выше, напряжения сети, подключённой.

На рис.2.3.а и б представлены соответственно зависимости потребляемой РМ Q и величины $\text{tg}\phi$ при углублённом изменении напряжения питания U и разных коэффициентах загрузки β АД, а на рис.2.3, в и г - зависимости величины $\text{tg}\phi$ от напряжения U при различных значениях β для двух асинхронных машин с идентичной частотой вращения ротора, но с разными номинальными активными мощностями. Аналитика характеристик позволит сделать последующие выводы.

В следующих случаях относительная величина потребляемой АД реактивной мощности увеличивается :

- при уменьшении номинальной мощности АД;
- при уменьшении коэффициента его загрузки β ;
- при увеличении напряжения питания.

Исключительное резкое увеличение $\text{tg}\phi$ наблюдается при увеличении напряжения питания у малозагруженных двигателей. К примеру, при увеличении напряжения на 15% по отношению к номинальному для двигателя с $P_n = 1$ кВт и $\beta = 0,5$ (рис.2.3, в) величина $\text{tg}\phi$ возрастает на 53%, а потребление реактивной мощности достигает 3 кВар на 1 кВт активной мощности. Увеличение нагрузки для этого АД с $\beta = 0,5$ до 0,75 позволяет снизить коэффициент $\text{tg}\phi$ на 28%. Исследования показывают, что оптимальная величина загрузки АД находится в пределах 0,7...0,9.

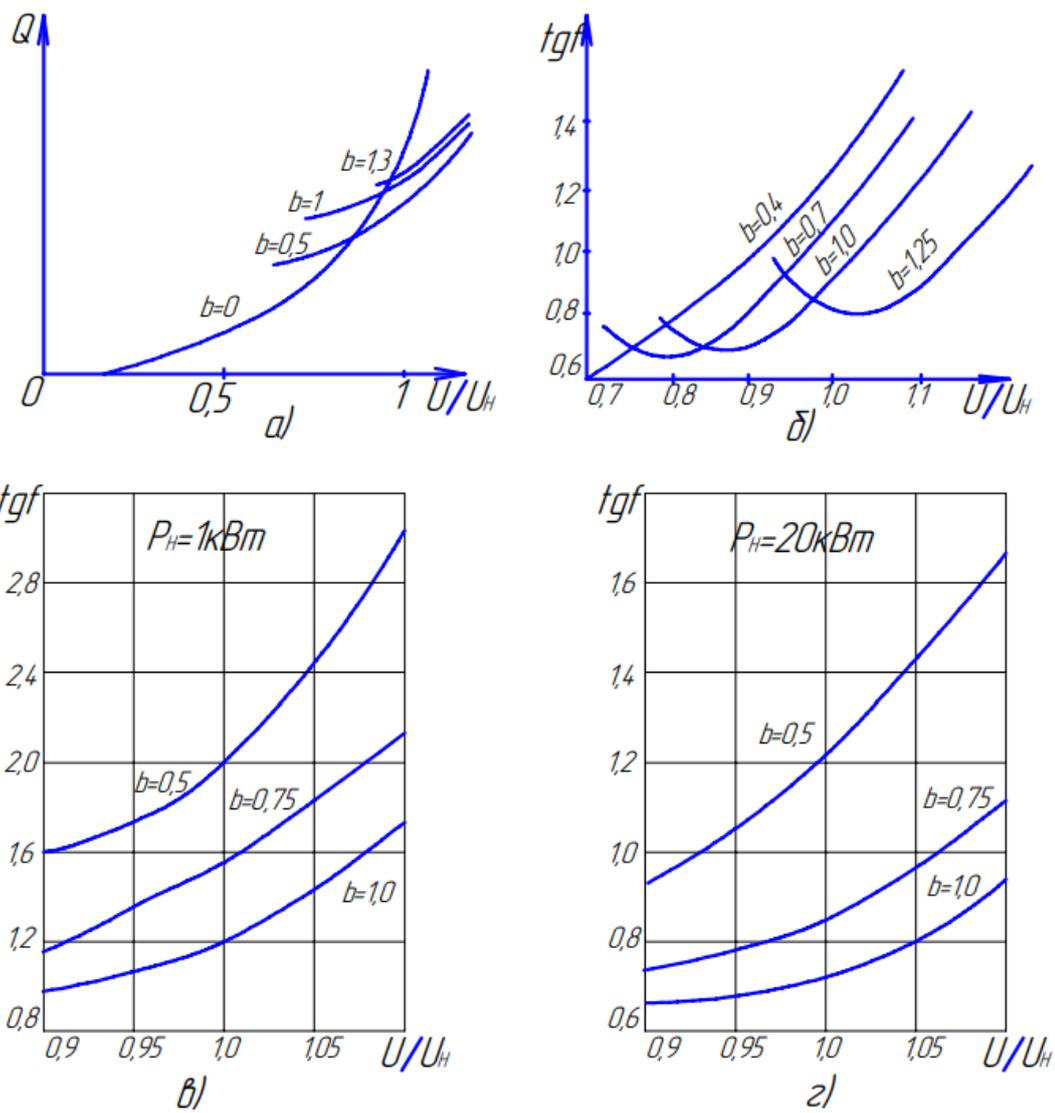


Рисунок.2.3-Рисунки зависимостей

2.2 Трансформаторы

РМ, используемая силовыми трехфазными трансформаторами, тратится на намагничивание магнитопроводов и на создание поля рассеяния. Трансформаторы делаются так, чтобы зазоры между пластинами магнитопроводов были минимальными, что означает небольшое магнитное сопротивление R_m (см. выражение 2.1) их магнитной системы. В итоге этого относительное потребление РМ силовыми трансформаторами намного меньше. РМ, потребляемой АД (примерно на порядок при той же номинальной мощности). Потери (потребление) РМ в силовом трансформаторе можно записать так.

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + K_3^2 \Delta Q_{кз} \quad (2.2)$$

где ΔQ_{xx} - реактивная мощность холостого хода (используемая на намагничивание магнитной системы трансформаторе); K_3 - коэффициент загрузки по току; $\Delta Q_{кз}$ - реактивная мощность короткого замыкания (движущаяся на создание полей рассеяния). У нынешних силовых трансформаторов потери реактивной мощности на намагничивание находятся в диапазоне 1...2 % $S_{Т.Н.}$, а на создание полей рассеяния - около 2 % $S_{Т.Н.}$ (принято $K_3 = 0,65...0,7$, а напряжение короткого замыкания $U_k = 5,5$ %), т.е. в сумме получается, что потери ΔQ_T от 3 до 4 % $S_{Т.Н.}$. В силовых трансформаторах устаревших конструкций потери ΔQ_T могут достигать от 6 до 8 % $S_{Т.Н.}$. По причине того что число трансформаций напряжения при передаче электроэнергии от генераторов ЭС до потребителей составляет 3 – 5%, общее потребление РМ силовыми трансформаторами в общем большое – от 30 до 35 % всей потребляемой РМ. Как было отмечено выше, существенную роль в балансе РМ, потребляемой силовыми трансформаторами, играют потери холостого хода, составляющие от 50 до 60% потерь РМ нагруженных трансформаторов. Следует вывод, что обеспечение нужного режима работы трансформаторов является необходимым направлением уменьшения использования РМ и уменьшения потерь активной мощности. При маленьких нагрузках трансформаторов (коэффициент загрузки $K_3 \leq 0,3$) целесообразна их замена на менее мощные. При $K_3 > 0,3$ требуется обоснование замены путем подсчета приведенных потерь активной мощности. Анализ характеристик силовых трансформаторов показывает, что повышение коэффициента их загрузки K_3 до 0,6 приводят к заметному снижению $\text{tg}\phi$, а при дальнейшем повышении коэффициента K_3 коэффициент $\text{tg}\phi$ меняется не сильно. Для уменьшения потерь РМ в трансформаторах рекомендуется отключать в резерв трансформаторы, нагруженные менее 40 % их номинальной мощности, с переводом загрузки на различные трансформаторы.

3 Источники реактивной мощности

3.1 Общая характеристика источников реактивной мощности

На рисунке. 3.1. демонстрируется пример схемы электроснабжения ПП. В общих случаях РМ потребляется АД, электротехнологическими установками, разными преобразователями тока, и так же на напряжении до 1000 В (Q_H), так и на напряжении выше 1000 В (Q_H).

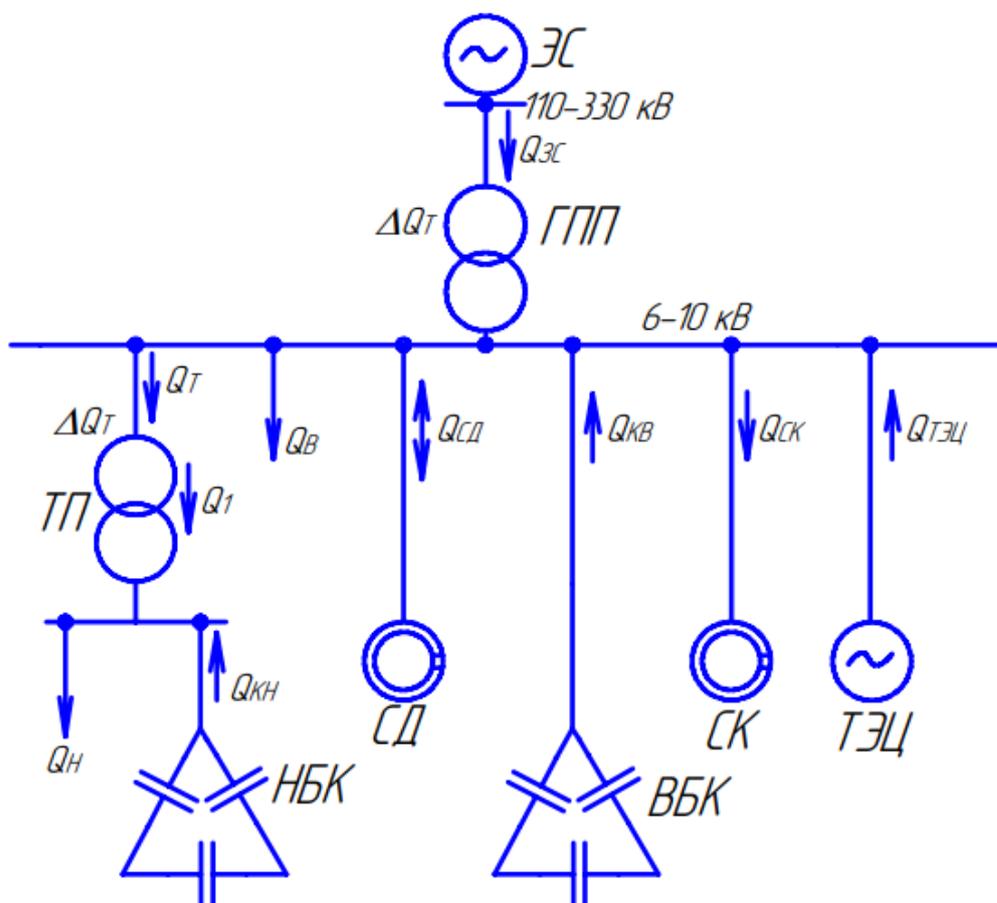


Рисунок.3.1 - схема электроснабжения ПП

В отдельных случаях крупные электротермические установки – сталеплавильные, дуговые, рудотермические печи и пр. - питаются на напряжении 35, 110 и даже 220 кВ (например, от трехобмоточных трансформаторов ГПП или от отдельных специальных). Кроме того, в СЭС ПП имеются потери реактивной мощности ΔQ_T в трансформаторах цеховых ТП и ГПП. Источниками РМ на ПП являются: генераторы энергосистемы ($Q_{ЭС}$) и ТЭЦ ($Q_{ТЭЦ}$); синхронные компенсаторы ($Q_{СК}$); высоковольтные ($Q_{КВ}$) и низковольтные ($Q_{КН}$) батареи конденсаторов; синхронные двигатели ($Q_{СД}$); компенсированные преобразователи. Следует учитывать РМ, которую генерируют также воздушные линии напряжением 35 кВ и выше, токопроводы напряжением 20 кВ и выше, а также кабельные линии напряжением 6 кВ и выше. Следует отметить, что синхронные компенсаторы и двигатели могут быть как источниками, так и потребителями реактивной мощности.

3.2 Синхронные компенсаторы

Синхронные компенсаторы (СК) устанавливаются для того чтобы вырабатывать РМ. Это один из подвидов синхронных машин, которые работают без активной нагрузки на валу (валы синхронных компенсаторов делают облегченными, воздушные зазоры у них намного меньше, нежели чем у СД и генераторов той же мощности). В нынешнее время выпускают СК мощностью от 5 до 160 МВА. Преимуществом СК как источников реактивной мощности являются: положительный регулирующий эффект, который заключается в возможности быстродействующем, автоматическом плавном с широкими пределами регулирования генерируемой или потребляемой РМ и, это значит, уровень напряжения в точке подключения СК к СЭС; довольно термическая и электродинамическая устойчивость обмоток СК во время КЗ; допускают 2..3 - кратные перегрузки по току; возможность восстановления поврежденных СЭС способом проведения ремонтных работ. В это же время СК, являясь вращающимися машинами, сложнее в эксплуатации и имеют большие удельные потери активной мощности (примерно 100 Вт/квар) при выработке РМ. На ПП применение СК допускается, тогда мощность КУ превышает 10 м.Вар. Обычно СК устанавливаются на крупных районных подстанциях энергосистемы. Для уменьшения колебаний напряжения, которые обусловлены, резкими переменными реактивными нагрузками, используют быстродействующие СК. Например СК-10000-8 мощностью 7,7 м.Вар на напряжение 10 кВ и мощностью 10 м.Вар на напряжение 6 кВ. Максимальная скорость изменения реактивной мощности, выдаваемой в сеть, составляет: 130Мвар/с

3.3 Синхронные двигатели

Синхронные двигатели (СД) вырабатывают РМ одновременно при выполнении своей основной задачи которой является преобразовании электрической энергии в механическую. По этой причине удельные затраты на выработку РМ двигателями ничтожно малы, так как финансовые затраты на их установку относятся по прямому назначению СД. СД как источники реактивной мощности обладают следующими преимуществами : находятся в самом цеху, по этой же причине потери активной мощности на передачу РМ минимальны; обеспечивают плавное регулирование РМ; повышают предел устойчивости нагрузки благодаря регулирования напряжения в точке присоединения к СЭС. Характер и значение реактивной мощности СД определяются величиной тока возбуждения в обмотке ротора. На рис.3.2 приведены кривые зависимости тока статора $I_{ст}$ и реактивной мощности СД $Q_{сд}$ от тока возбуждения I_B при различных значениях коэффициента загрузки β по активной мощности СД. Ветви кривых слева соответствуют недозагрузке СД - в данном режиме СД представляет для сети активно-индуктивную нагрузку. Ветви кривых справа соответствуют режиму перевозбуждения - в данном режиме СД представляет для сети активноемкостную нагрузку, т.е. работает не только как двигатель, но и как источник РМ.

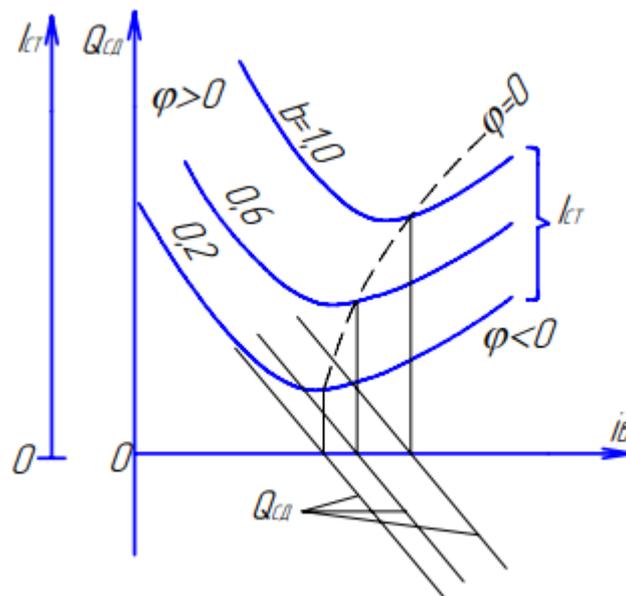


Рисунок 3.2 – зависимость тока от статора

Условием для работы СД характеризуются основными параметрами такими как : коэффициентом загрузки по активной мощности $\beta = \frac{P}{P_H}$; коэффициентом загрузки по реактивной мощности $\alpha = \frac{Q}{Q_H}$; относительная величина напряжения на зажимах $U' = \frac{U}{U_H}$. При номинальных условиях работы , в момент когда $\beta=1$ а так же

$U' = 1$, синхронные двигатели могут длительный период генерировать номинальную реактивную мощность $Q_{сд.н.}$

При генерации РМ $Q_{сд}$ в синхронных двигателях возникают потери активной мощности $\Delta P = f(\alpha, \beta, U')$. Которым соответствуют кривые показаны на рис.3.3. Их достаточно для практических расчетов. Точностью это семейство кривых можно заменить кривой второго порядка, уравнение которой представляется в виде суммы, двухчленов:

$$\Delta P = D_1 \frac{Q}{Q_{сд.н.}} + D_2 \frac{Q^2}{Q_{сд.н.}^2} \quad (3.1)$$

где D_1 и D_2 это неизменяемые (const) величины, которые зависят от технических характеристик СД, кВт.

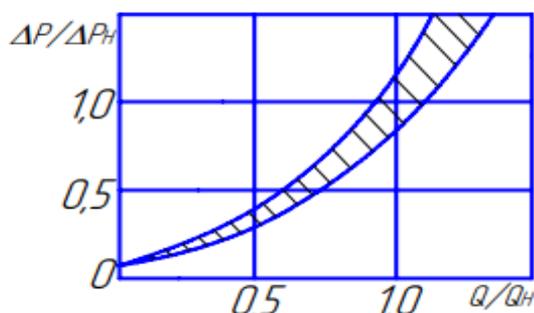


Рис 3.3 – кривые номинальных мощностей

Для группы которые работают параллельно СД, одинаково загруженных, однотипных, с одной и той же номинальной мощностью $Q_{сд.н.}$. потери активной мощности

$$\Delta P = D_1 \frac{Q}{Q_{сд.н.}} + D_2 \frac{Q^2}{NQ_{сд.н.}^2} \quad (3.2)$$

3.4 Статические конденсаторы

3.4.1 Конденсаторные установки общего назначения

Статические конденсаторы (батареи конденсаторов БК) получили на промышленных предприятиях большее распространение как средство компенсации реактивной мощности. Главными их достоинствами являются:

1. Небольшие потери активной мощности: для БК напряжением до 1000 В от 3,5 до 4,5 Вт/кВар, а выше 1000 В от 2 до 3 Вт/квар.

2. Отсутствуют вращающиеся части и достаточно маленькая масса установки БК, которая не требует фундамента.

3. Простая и дешевая эксплуатация, нежели других КУ.

4. Возможность регулирования мощности батареи конденсаторов.

5. Возможность устанавливать в любой точке сети у отдельных электроприемников, группами в цехах, на РП или ГПП (главная понижающая подстанция)

6. При выходе из строя одного из конденсаторов при правильной защите КУ не отразится на ее функционировании.

Недостатки БК:

1. Довольно слабо переносят перенапряжения.

2. Есть шанс способствования резонансу токов на одной из гармоник, что может вызывать в ряде случаев повреждение БК вследствие перегрузки по току.

3. При повреждении не могут быть восстановлены.

4. Необходимость снятия остаточного заряда или разряда после отключения от сети.

Вышеуказанные преимущества БК в сравнении другими видами источников РМ гарантировали их широкое применение в СЭС ПП. В схемах электроснабжения статические конденсаторы могут осуществлять (рис. 3.4):

1. Индивидуальную компенсацию РМ двигателей, осветительных установок, сварочных аппаратов, электротермических и других установок. Достоинством является: непосредственное подключение БК к зажимам потребителя РМ. Минус: большое число БК малой мощности, что обуславливает повышенные капитальные вложения и сложность их эксплуатации.

2. Групповую компенсацию РМ большого числа одиночных потребителей. Достоинство: небольшое число БК. Минус: не компенсируется РМ в линиях, питающих одиночные потребители.

3. Централизованную компенсацию РМ в центрах питания — на РП и ПП. Достоинства: уменьшение количества оборудования и снижение капитальных вложений; возможность изменения генерируемой РМ в зависимости от потребности или от заданного значения $\text{tg}\phi$; возможность регулирования напряжения в режиме минимальных нагрузок предприятия. Минус: отсутствие разгрузки от РМ элементов СЭС, расположенных между БК и потребителем.

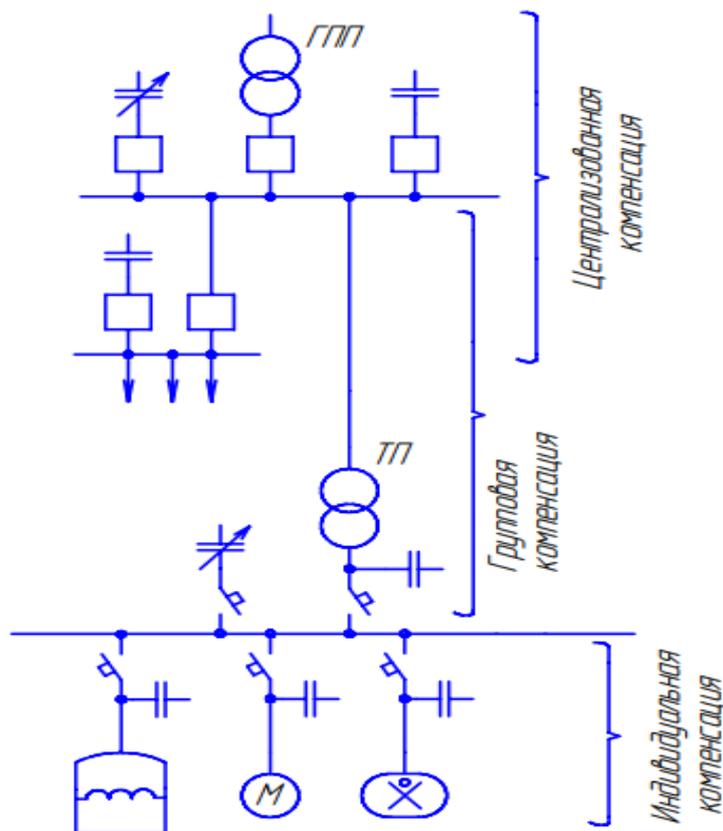


Рисунок 3.4 - статистические конденсаторы в системах электроснабжения

В трехфазной электрической сети БК соединяется по схеме «треугольник» или по схеме «звезда». РМ БК, соединенной по схеме «треугольник», равняется:

$$Q = wCU_{л}^2 10^{-3} \quad (3.3)$$

А когда схема соединена в «звезду» равняется:

$$Q = wCU_{\phi}^2 10^{-3} \quad (3.4)$$

В данных формула: w - угловая частота напряжения сети; C - суммарная емкость всех конденсаторов, мкФ; $U_{л}$, U_{ϕ} - линейное и фазное напряжения сети, кВ.

Из данных формул видно, что соединение конденсаторов по схеме «треугольник» позволяет получить от конденсаторов одной емкости в 3 раза большую мощность, нежели при соединении по схеме «звезда». Так же отмечу, что действительная мощность Q_k зависит от относительного уровня напряжения U_c в точке присоединения БК в СЭС:

$$Q_k = Q_{к.н.} \left(\frac{U_c}{U_{к.н.}} \right)^2 \quad (3.5)$$

где $Q_{к.н.}$ и $U_{к.н.}$ это величины которые относятся к паспортным данным конденсаторов. Получается, реактивная мощность БК прямопропорциональна квадрату напряжения.

Для безопасного обслуживания отключенных конденсаторов для снятия остаточного напряжения параллельно конденсаторам полностью включаются разрядные резисторы. Данные сопротивления резистора выбирается исходя из этих условий: Период разряда конденсатора не должно превышать 3-5 мин; потери активной мощности в резисторах не превышают 1 Вт/кВар. Примерное разрядное сопротивление определяется выражением, Ом,

$$R = 15 \cdot 10^6 \frac{U_\phi}{Q_k} \quad (3.6)$$

В этой формуле U_ϕ - фазное напряжение сети, кВ; Q_k - мощность БК, кВар
 Конструкция ККУ напряжением, 10 кВ состоит из ячейки ввода и одной и нескольких конденсаторных ячеек (рис. 3.5). В ячейке для ввода находится трехполюсный разъединитель вместе заземляющими ножами и приводом, элементы электромагнитной блокировки и измерительная 27 аппаратура. В конденсаторной ячейке размещены три конденсатора типа КЭК2-10, 5-150 со встроенными разрядными резисторами. Конденсаторы соединены схемой «треугольник»

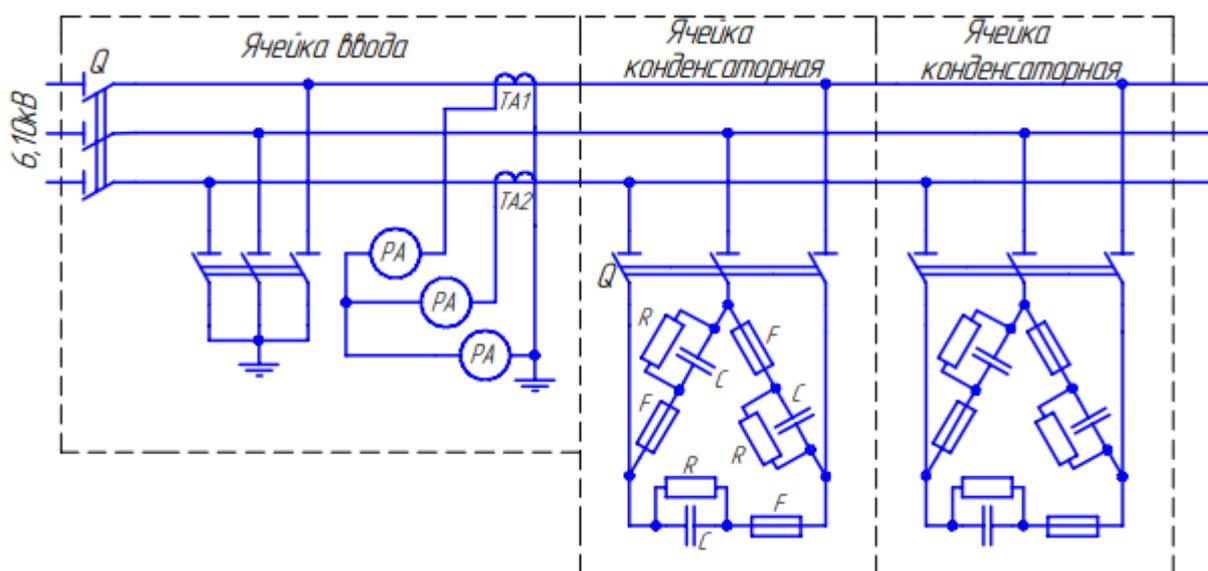


Рисунок 3.5 - схема ККУ

3.4.2 Статические компенсирующие устройства

Статические компенсирующие устройства (СКУ) являются амбициозным средством компенсации реактивной мощности. Их главным достоинством является быстрдействие и, соответственно, способность подавления колебаний напряжения. В нынешнее время создано много типов СКУ на базе управления реакторов и конденсаторов зачастую с использованием управляемых вентилях. Большое использование в зарубежной и отечественной практике получили устройства прямой или же косвенной компенсации. В таблице 1.1 представлено качественное сравнение быстрдействующих СК со СКУ прямой и косвенной компенсацией.

Таблица 1.1

Параметры для сравнения	Специальный асинхронный компенсатор	СКУ прямой компенсации	СКУ косвенной компенсации
Регулировочное время	Больше 0.06	Меньше 0.02	Меньше 0.01
Вид регулирования	Плавный	Ступенчатый	Плавный
Не симметричная работа	Пофазное управление на практике	Пофазное управление	Пофазное управление
Строительная часть	Большие фундаменты	Не требуются фундаменты	Не требуются фундаменты
Потери активной мощности	От 2.5 до 4%	От 0.5 до 1%	От 1 до 2%
Искажения напряжения	Нет	Нет	Нет

СКУ прямой компенсации выполняет ступенчатое регулирование РМ с помощью включения и отключения БК и СРФ при изменении РМ электроприемников (рисунке 3.11, а). Для поддержки быстрдействия в качестве выключателей применяются тиристорные ключи. Для улучшения переходных процессов при включении отпирание тиристоров осуществляется в этот момент, когда напряжения сети и конденсаторов равны как по величине, так и по полярности. Быстрдействие СКУ прямой компенсации в основном определяется условиями коммутации при изменении РМ и составляет порядка 0,02 с. Одним из основных преимуществ СКУ прямой компенсации является то, что они не генерируют в сеть высшие гармоники, а к недостаткам следует отнести сложность силовой схемы, схемы управления и значительную стоимость. СКУ косвенной компенсации состоят из двух частей: плавно регулируемого индуктивного элемента (реактора) и нерегулируемой БК или СРФ (рисунке 3.11, б). Принцип косвенной компенсации заключается в том, что управляемый, реактор потребляет РМ, когда нет реактивной нагрузки потребителей,

а уменьшение его мощности происходит с набросом РМ электроприемников, при этом поддерживается постоянство реактивной мощности, получаемой из сети. Ток в реакторе регулируется различными способами. Например, некоторые зарубежные фирмы применяют управляемый насыщающийся реактор. Однако его быстродействие оценивается временем задержки более 0,06 с, что недостаточно для таких электроприемников, как ДСП. Поэтому используют регулирование тока реактора с помощью изменения угла проводимости встречно-параллельного включенных тиристоров. Такая схема обеспечивает плавное регулирование РМ с временем задержки 0,01 с, но является источником высших гармоник.

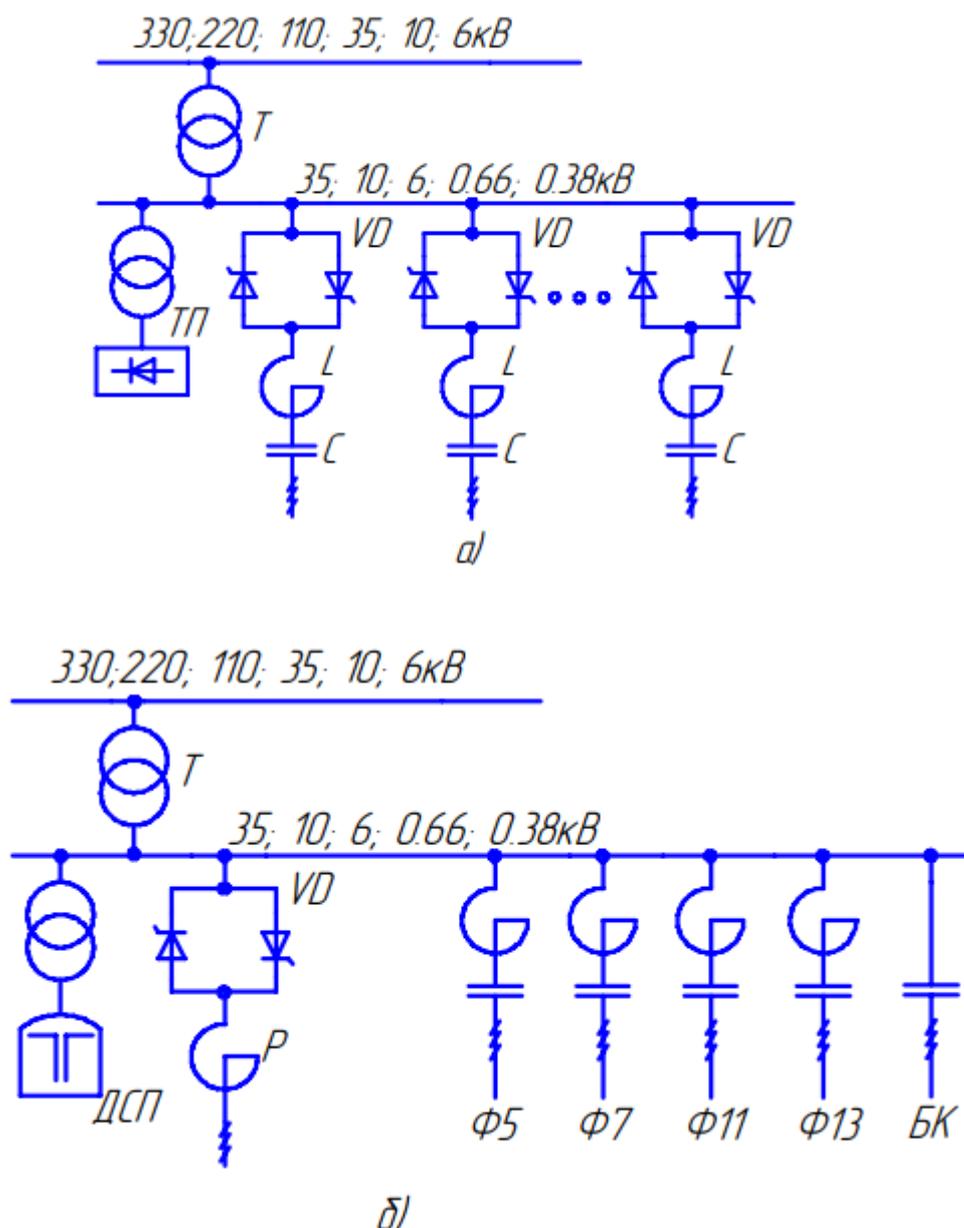


Рисунок 3.6 - Коммутация конденсаторов

4.1 Выбор средств компенсации реактивной мощности

В электрических сетях ПП ИРМ являются БК, синхронные двигатели, кабельные и воздушные линии напряжением 6 кВ и 10 кВ. При выборе средств компенсации РМ важно учитывать: а) мощность, которая генерирует БК поперечного включения и пропорциональную квадрату напряжения на зажимах:

$$Q_{\text{БК}} \left(\frac{U}{U_{\text{ВХ}}} \right)^2 Q_{\text{Н.БК.}} \quad (4.1)$$

В данной формуле - $U, U_{\text{ВХ}}$ это относительные номинальные напряжения сети и конденсаторов в месте их присоединения; $Q_{\text{Н.БК.}}$ - номинальная мощность БК;
б) Общую мощность РМ всех СД, В проектируемых в схемах электроснабжения предприятия. Полная величина РМ, которую может генерировать СД:

$$Q_{\text{СД}} = \alpha_{\text{Н}} Q_{\text{Н}} = \frac{\alpha_{\text{Н}} P_{\text{Н}} \cdot \text{tg} \phi_{\text{Н}}}{\eta} \quad (4.2)$$

В данной формуле, $Q_{\text{Н}} P_{\text{Н}}$ - это номинальные реактивная и активная мощности СД; $\text{Н tg} \phi$, η - коэффициент реактивной мощности и КПД (коэффициент полезного действия), который соответствует номинальным данным двигателя; $\alpha_{\text{Н}}$ - наибольшая допустимая перегрузка СД по РМ, которая зависит от вида двигателя, относительного напряжения на его зажимах и коэффициента загрузки по его активной мощности (табл. П1-1); в) РМ, генерируемая кабельными и воздушными линиями:

$$Q_{\text{лин}} = (U)^2 Q_0 \cdot l \quad (4.3)$$

В данной формуле U - относительное напряжение сети по отношению к номинальному; Q_0 это - удельная РМ, которая генерируется 1 км кабельной линии (табл. П1-2); l - длина линии. Мощности БК, которые устанавливаются в сети до 1000 В и в сетях 6/10 кВ при присутствии СД и протяженных кабельных линий 6/10 кВ, определяются по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} Q_{\text{БК.Н.}} &= Q_{\text{КУ.Н.}} - Q_{\text{СД.Н.}} \\ Q_{\text{БК.В.}} &= Q_{\text{КУ.В.}} - 0.7 Q_{\text{СД.В.}} - Q_{\text{Лин}} \end{aligned} \quad (4.4)$$

В этих формулах $Q_{\text{БК.Н.}}$, $Q_{\text{КУ.Н.}}$, $Q_{\text{СД.Н.}}$ - эта мощность БК КУ СД которые устанавливаются в сетях до 1000В; $Q_{\text{БК.В.}}$, $Q_{\text{КУ.В.}}$, $Q_{\text{СД.В.}}$ это мощность БК КУ СД которые устанавливаются в сетях 6/10 кВ.

Примечание: Если $Q_{\text{БК.Н.}} < 50 \text{ кВар}$ и $Q_{\text{БК.В.}} < 800 \text{ кВар}$ то устанавливать БК не рекомендуется.

4.2 Техико – экономическое обоснование выбора КУ

Для выбора КУ проводятся технико-экономический анализ среди различных вариантов.

Выбирается тот вариант экономически целесообразен, который обеспечивает минимальное количество годовых затрат. Общие затраты на установку КТП и на генерирование РМ определяются по следующей формуле.

$$Z = Z_{\text{КТП}} + Z_{\text{КУ}} \quad (4.5)$$

В данной формуле $Z_{\text{КТП}}$ это приведённые затраты на установку КТП, $Z_{\text{КУ}}$ это приведённые затраты на КУ. Приведённые затраты на КТП считаются по формуле

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{ТП}} + C \cdot \Delta P_{\text{T}} \quad (4.6)$$

В данной формуле E – это общий коэффициент отчисления от капитальных вложений в КТП, $K_{\text{ТП}}$ – это стоимость КТП, K_{ti} это цена одной КТП, N_{T} число трансформаторов, $C \cdot \Delta P_{\text{T}}$ это стоимость потерь мощности в трансформаторах КТП. Это определяется по формуле

$$C \cdot \Delta P_{\text{T}} = C_0 \cdot \Delta P_{\text{хх}} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{\text{к.з.}} \quad (4.7)$$

Здесь C_0 – удельная стоимость потерь холостого хода трансформатора; C – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь. Значения параметров C_0 и C определяются на основании действующих тарифов, по выражениям

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_{\text{M}}} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_{\text{p}}; C = \left(\frac{\alpha}{T_{\text{M}}} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau \quad (4.8)$$

В этой формуле: α – основная ставка двухставочного тарифа, тенге/кВт – плата за 1 кВт максимальной нагрузки; β – дополнительная плата за 1 кВт·час потребленной электроэнергии; T_{p} – время работы трансформатора в году; T_{M} – время использования максимальной нагрузки предприятия в год; τ – время максимальных потерь, определяемое по данной формуле

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\text{M}}}{1000} \right)^2 8760 \quad (4.9)$$

K_3 – коэффициент загрузки трансформатора; $\Delta P_{\text{хх}}$, $\Delta P_{\text{к.з.}}$ – потери холостого хода и

короткого замыкания трансформатора КТП. Приведенные затраты на генерацию РМ КУ определяются по следующей формуле:

$$Z_{\text{ку}} = Z_0 + Z_1 Q + Z_2 Q^2 \quad (4.10)$$

В данной формуле Q - генерируемая источником РМ для проектной установки, мВар; Z_0 - постоянная составляющая затрат, которая не зависит от генерируемой мощности,

Z_1 - удельные затраты на 1 мВар генерируемой мощности, тенге/Мвар; Z_2 - удельные затраты на 1 мВар генерируемой мощности, тенге/Мвар².

Выбор числа и мощности трансформаторов тп 10/0,4 кв с учетом компенсации реактивной мощности

Для агломерационного предприятия известны данные:
 $P_{p\Sigma 0} = 12104.3$ кВт $P_{p\Sigma 0} = 7942.2$ кВар

Q_{\min} - определяется по годовому графику предприятия. Для агломерации
 $Q_{\min} = 63\%$ от расчётного максимума.

$$Q_{\min} = 0.63 \cdot 7942.2 = 5003.5 \text{ кВар}$$

Далее определяем значение P_p Q_p :

$$P_p = P_{p\Sigma 0} + \Delta P_T = 12600 \text{ кВт}$$

$$Q_p = P_{p\Sigma 0} + \Delta Q_T = 8720 \text{ кВар}$$

ΔP_T и ΔQ_T выбираются по паспортным данным трансформатора.

1) Определяем входные значения реактивных мощностей

$$a) Q'_{\varepsilon 1} = Q_p - 0.7 Q_{\text{сд}} = 8720 - 0.7 \cdot 0 = 8720 \text{ кВар};$$

$$Q''_{\varepsilon 1} = \alpha \cdot P_p = 0.28 \cdot 12.460 = 3488.8 \text{ кВар}$$

Принимаем наименьшее значение $Q''_{\varepsilon 1} = 3488.8$ кВар

$$b) Q'_{\varepsilon 2} = Q_{\min} - Q_{\text{кд}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\varepsilon 1}) = 5003.5 - (8720 - 3488.8) = -227.7$$

$$Q''_{\varepsilon 2} = Q_{\min} + Q_{\text{кд}} = 5003.5 + 0 = 5003.5$$

2) Определяем суммарную мощность компенсирующих устройств

$$Q_{КУmax} = 1.1 \cdot Q_p - Q_{э1} = 1.1 \cdot 8720 - 3488.8 = 6103.2$$

3) Определяем мощность нерегулируемых компенсирующих устройств

$Q_{КУmin} = Q_{min} - Q_{э1} = 5003.5 - 5003.5 = 0$, это значит все КУ должны
быть
регулируемые

4) Выбор числа трансформаторов и их мощность.

$$\sigma = \frac{(\sqrt{12600})^2 + \sqrt{8720})^2}{S_{ц}} = 0.255 \frac{\text{кВа}}{\text{м}^2} \gg S_{н.т.} = 1600 \text{ кВа.}$$

В данной формуле $k_3 = 0.7$ для двухтрансформаторных ТП, $S_{ц}$ – это площадь нашего предприятия

$$5) N_T = \frac{P_{p\Sigma 0}}{k_3 \cdot S_{н.т.}} = \frac{12104.3}{0.7 \cdot 1600} = 10.8 , \text{ принимаем ближайшее } N_T = 11$$

6) Определение реактивной мощности , которую необходимо передать из сети 10 кВ в сеть 0.4 кВ и не должна быть компенсирована.

$$Q_{эн} = Q_{э1} - Q_B = 3488.8 - (8720 - 7942.2) = 2711 \text{ кВар.}$$

Q_B это РМ для потребителей 6...10 кВ

7) Находим целесообразную РМ передаваемую через трансформаторы в сеть до 1000В

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot k_3 \cdot S_{н.т.})^2 - P_{p\Sigma 0}^2} = (\sqrt{11} \cdot 0.7 \cdot 1600)^2 - 12104.3^2 = 2300 \text{ кВар}$$

$$Q_{КУн} = Q_{P_{p\Sigma 0}} - Q_T = 7942.2 - 2300 = 5642.2 \text{ кВар}$$

$$Q_{КУв} = Q_{КУmax} - Q_{КУн} = 6103.2 - 5642.2 = 461 \text{ кВар} < 850$$

Распределение БК по ТП приведены в таблице 2.

Таблица 2

Номер трансформатора		Расчётная нагрузка кВар.	Расчётная мощность БК кВар	Мощность принимаемая БК, кВар	Вид БК
ТП241	T1	760	538	500	УКБН-0.38-200, 300
	T2	597	423	450	
ТП242	T1	870	621	650	УКЛН-0.38-450
	T2	640	454	450	
ТП243	T1	923	655	650	УКЛН-0.38-450
	T2	560	396	400	
ТП244	T1	750	540	500	УКБН-0.38-300
	T2	485	344	300	
ТП245	T1	772	549	750	УНЛН-0.38-750
	T2	1050	746	300	
Всего		7407	5266	4950	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Есть множество способов компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях. Для выбора одного из списка устройств, необходимо учитывать график нагрузки предприятия, а так же работу преобразовательных установок, то есть учитывать наличие высших гармоник. Одним из важнейших факторов является схема электроснабжения промышленного предприятия, с целью чтобы узнать лучшее местоположение компенсаторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии //Инструктивные материалы Главгосэнергонадзора – М.: Энергоатомиздат, 1986. – С. 276 – 326.
2. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. Минск: Изд-во стандартов, 1998. – 31 с.
3. Копытов Ю. В. Чуланов Б. А. Экономия электроэнергии в промышленности. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 112 с.
4. Иванов В.С. Соколов В.И. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с.
5. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.
6. Прейскурант 09-01. Тарифы на электрическую и тепловую энергию. М.: Прейскурантиздат, 1988. – 16 с.
7. Проектирование систем электроснабжения / В.Н. Винославский, А.В. Праховник, Ф. Клеппель, У. Бутц, - Киев: Высшая школа, 1981. – 360 с.
8. Жежеленко И.В., Рабинович М.Л., Божко В.М. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях. – Киев: Техника, 1981. – 160 с.
9. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. –М.: Энергоатомиздат, 2004. – 358 с.
10. Статические источники реактивной мощности в электрических сетях / В.А. Веников, Л.А. Жуков, И.И. Карташев, Ю.П. Рыжов. – М.: Энергия, 1975. – 136 с.
11. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии на промышленных предприятиях.– М.: Энергия, 1977. – 128 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Средние значения α_n для СД серий СДН и СТД

Частота вращения двигателя, напряжения, серия.	Напряжение на зажимах	Коэффициент загрузки 0.7	Коэффициент загрузки 0.8	Коэффициент загрузки 0.9
Для всех частот вращения СД, 6 и 10 кВ	0.95	1.45	1.39	1.31
	0.1	1.33	1.27	1.21
	1.05	1.17	1.12	1.06
СДН на 6 кВ от 100 до 167 об/мин	1.1	0.87	0.85	0.81
	1.1	0.9	0.88	0.86
	1.1	0.94	0.92	0.88
от 375 до 500 об/мин	1.1	0.96	0.94	0.89
от 600 до 1000 об/мин	1.1	0.92	0.9	0.86
СДН на 10 кВ 1000 об/мин	1.1	0.92	0.9	0.86
СТД 6/10 кВ 3000 об/мин	0.95	1.52	1.42	1.3
	1	1.43	1.34	1.23
	1.05	1.31	1.23	1.12
	1.1	1.16	1.08	0.9

Расчётные данные для кабелей с бумажной изоляцией с вязкой пропиткой

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Сечение жилы мм ²	R_0 Ом Медь	6.0 кВ X_0 Ом	6 кВ Q_0 кВар	10 кВ X_0 Ом	10 кВ Q_0 кВар	20 кВ X_0 Ом	20 кВ Q_0 кВар	35 кВ X_0 Ом	35 кВ Q_0 кВар
10	1.84	0.11	2.3	-	-	-	-	-	-
16	1.15	0.102	2.6	0.112	6	-	-	-	-
25	0.74	0.091	4.6	0.01	9	0.140	25	-	-
35	0.52	0.87	5.2	0.095	10.5	0.130	27.5	-	-
50	0.37	0.083	6.6	0.09	11.6	0.120	32	-	-
70	0.26	0.08	8.7	0.086	14	0.116	36	0.135	85
95	0.194	0.078	9.5	0.083	15.6	0.110	40	0.126	95
120	0.153	0.076	10.4	0.081	17	0.107	42.8	0.120	100
150	0.122	0.74	11.2	0.079	18.3	0.104	47	0.116	112
185	0.099	0.073	13.1	0.077	20.0	0.101	51	0.113	115
240	0.077	0.071	14.5	0.075	21.5	-	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Мощность кВа	ТСЗ-6 R_m Ом	ТМЗ-6кВ R_m Ом	ТМ-6 R_m Ом	ТСЗ-10 R_m Ом	ТМЗ-10кВ R_m Ом	ТМ-10 R_m Ом
250	2.2	2.1	-	6.08	5.92	-
400	1.2	1.2	-	3.37	3.43	-
630	0.662	0.699	0.770	1.83	1.91	2.14
1000	0.403	0.396	0.439	1.12	1.10	1.22
1600	0.224	0.231	0.252	0.62	0.63	0.70
2500	-	0.140	0.144	-	0.38	0.40

Комплектные конденсаторные установки.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Тип установки	Номинальная мощность Q_H кВар	Число регулируемых ступеней поштучно кВар.
УК-6/10 Н-1800 Л, П	1800	1800x1
УК-6/10 Н-1350 Л, П	1350	1350x1
УК-6/10 Н-900 Л, П	900	900x1
УК-6/10-1125 ЛУЗ, ПУЗ	1125	-
УК-6/10-900 ЛУЗ, ПУЗ	900	-
УК-6/10-675 ЛУЗ, ПУЗ	675	-
УК-6/10-450 ЛУЗ, ПУЗ	450	-
УК-0,38-900 НЛ, НП	900	6x150
УК-0,38-600 НЛ, НП	600	4x150
УК-0,38-450 НЛ, НП	450	3x150
УК-0,38-300 НЛ, НП	300	2x150
УК-0,38-150Н	150	1x150
УК-0,38-540Н	540	5x110
УК-0,38-430Н	430	4x110
УК-0,38-320Н	320	3x110
УК-0,38-220Н	220	2x110
УК-0,38-110Н	110	1x110

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на Дипломную работу
(наименование вида работы)

Абдалиев Ерлан Жандосұлы

5B071800-Электроэнергетика

Тема: Применение компенсаторов реактивной мощности в системах электроснабжения

В данной работе рассмотрены вопросы о компенсации реактивной мощности, также изучены источники и потребители реактивной мощности и применение компенсаторов реактивной мощности в системах электроснабжения, в частности для агломерационных предприятий.

Были составлены технико-экономический расчёты, подбор необходимых элементов для систем электроснабжения.

Абдалиев Ерлан приступил к выполнению дипломной работы в соответствии с графиком.

За время дипломирования показал себя грамотным, хорошим специалистом, способным самостоятельно заниматься поиском необходимой литературы для решения поставленных задач, умеющим пользоваться справочной литературой, компьютерными технологиями.

Дипломная работа выполнена в полном объеме, состоит из пояснительной записки на 45 стр. машинописного текста.

Считаю, что дипломная работа Абдалиев Ерлан заслуживает оценку «отлично» (85%), а ее автор – присвоения степени «бакалавр».

Научный руководитель
к.т.н., ассистент-профессор
кафедры «Энергетика»



Жуматова А.А.

« 09 » 06 2021 г

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Абдалиев Ерлан Жандосұлы

Название: Применение компенсаторов реактивной мощности в системах электроснабжения

Координатор: Асель Жуматова

Коэффициент подобия 1: 7.8

Коэффициент подобия 2: 1.6

Замена букв: 42

Интервалы: 0

Микропробелы: 4

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование:

..... *допустить к защите*

..... *09.06.21*

Дата

..... *АСель Жуматова А.А.*

Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Абдалиев Ерлан Жандосұлы

Название: Применение компенсаторов реактивной мощности в системах электроснабжения

Координатор: Асель Жуматова

Коэффициент подобия 1:7.8

Коэффициент подобия 2:1.6

Замена букв:42

Интервалы:0

Микропробелы:4

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

заимствования в работе не обнаружены

Дата



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

..... *допуска к защите*

..... *09.08.21г.*

Дата



Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения