

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация

1. Теоретические сведения

1.1. Коэффициент мощности.

1.2. Принцип компенсации реактивной мощности.

1.3. Источники реактивной мощности промышленных предприятий.

1.4. Потребление реактивной мощности асинхронными двигателями.

2. Лабораторная установка.

3. Методические указания.

4. Шаблон отчета.

5. Вопросы для самоконтроля.

6. Глоссарий.

7. Интернет-ресурсы.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Коэффициент мощности

В реальных условиях электроснабжения звенья электропередачи и нагрузка потребителя содержат наряду с активным сопротивлением составляющие индуктивного и емкостного характера. Как правило, превалирует индуктивная нагрузка, вследствие чего одновременно с активной мощностью должна передаваться и реактивная мощность индуктивного характера. В общем случае нагрузка в цепи переменного тока может быть сведена к схеме, состоящей из активного r_a , реактивного индуктивного x_L , имеющего активное сопротивление r и реактивного емкостного x_C сопротивлений.

На рис. 1 а приведена эквивалентная схема одной фазы электроприемника, содержащая все перечисленные составляющие сопротивлений. На рис. 1 б для этой схемы построена векторная диаграмма. Напряжение \dot{U} приложено ко всем трем параллельно соединенным ветвям. Ток в ветви с индуктивностью отстает от напряжения \dot{U} на угол φ_L , который может быть определен из треугольника сопротивлений (рис. 1 в), построенного для ветви с индуктивностью, $tg\varphi_L = x_L / r$. Ток в цепи с активным сопротивлением совпадает по фазе с напряжением \dot{U} , а ток \dot{I}_C в цепи с емкостью опережает напряжение на угол $\varphi_C = 90^\circ$. В зависимости от соотношения реактивных сопротивлений x_C и x_L общий ток нагрузки \dot{I} может отставать или опережать напряжение \dot{U} . В рассматриваемом примере превалирует индуктивное сопротивление и ток \dot{I} отстает от \dot{U} .

Из векторной диаграммы следует, что эквивалентная схема электроприемника может быть заменена более простой, состоящей из r' и x'_L (рис. 1 г), для которой векторная диаграмма и треугольник сопротивлений показаны на рис. 1 д и 1 е соответственно.

На рис. 1 г емкостное сопротивление не показано, но оно противоположно по своему действию индуктивному и поэтому частично его скомпенсировало. Это и отражено в векторной диаграмме: x'_L на рис. 1 е меньше x_L на рис. 1 в.

Мгновенная мощность, потребляемая электроприемником (рис. 1 г), равна:

$$p = u \cdot i = u_a \cdot i + u_L \cdot i = p_a + p_L \quad (1)$$

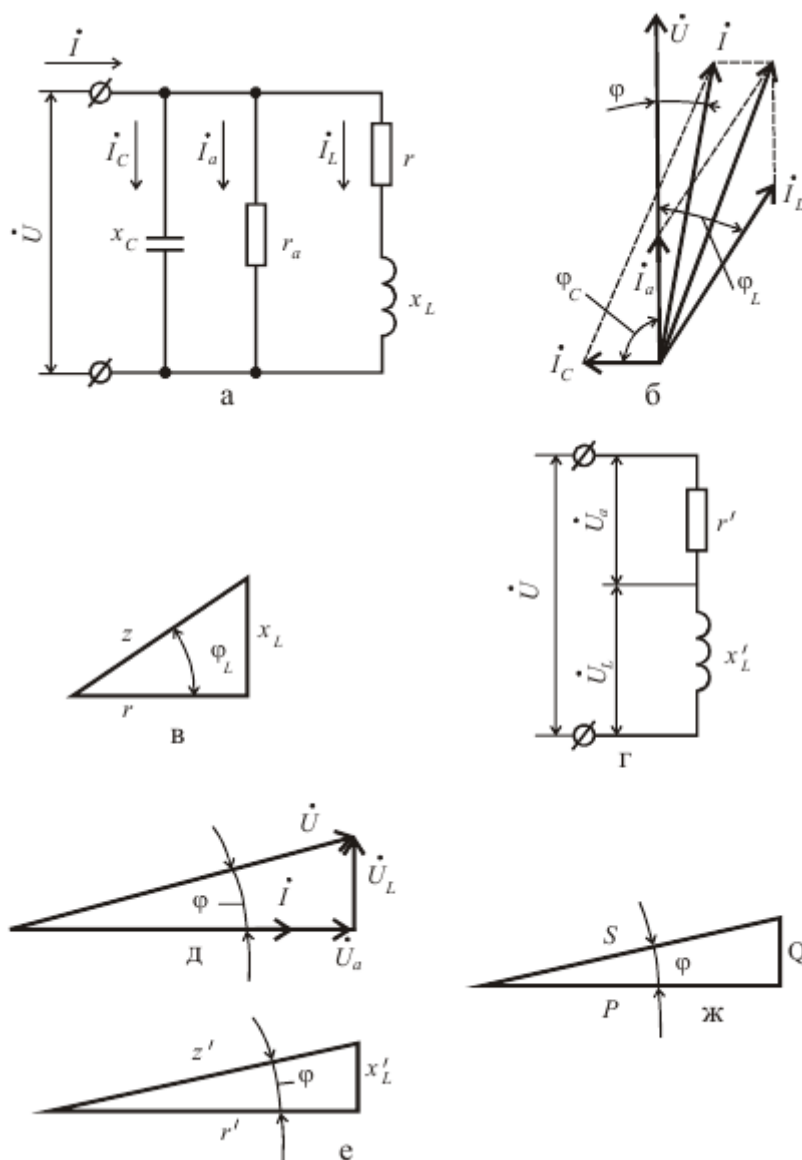


Рис. 1. Нагрузка в цепи переменного тока и ее векторные диаграммы: а – эквивалентная схема нагрузки; б – векторная диаграмма; в – треугольник сопротивлений для ветви с индуктивностью; г – схема замещения нагрузки; д – векторная диаграмма схемы замещения; е – треугольник сопротивлений схемы замещения; ж – треугольник мощностей нагрузки

Составляющая мгновенной мощности в активном сопротивлении, выраженная через действующие значения, равна:

$$\begin{aligned}
 p_a &= u_a \cdot i = U_{m.a} \cdot \sin \omega t \cdot I_{m.a} \cdot \sin \omega t = U_{m.a} \cdot I_{m.a} \sin^2 \omega t = \\
 &= \frac{U_{m.a} \cdot I_{m.a}}{2} - \frac{U_{m.a} \cdot I_{m.a}}{2} \cos 2\omega t = U_a \cdot I - U_a \cdot I \cdot \cos 2\omega t,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где $I_{m.a}$ и $U_{m.a}$ – максимальные активные значения тока и напряжения.

Среднее значение второго слагаемого за период равно нулю (знакопеременная нагрузка на вал турбины). Постоянная составляющая $U_a I$, представляющая среднюю за период расходуемую мощность в активном сопротивлении, называется активной мощностью цепи

$$P = U_a \cdot I = I_2 \cdot r' . \quad (3)$$

Из векторной диаграммы на рис. 1 д следует, что $U_a = U \cos \varphi$, следовательно:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi . \quad (4)$$

Составляющая мгновенной мощности в индуктивном сопротивлении:

$$p_L = u_L \cdot i = U_L \cdot I \cdot \sin 2\omega t . \quad (5)$$

Максимального значения реактивная мощность достигает при $\sin 2\omega t = 1$, а так как согласно рис. 1 д $U_L = U \sin \varphi$, то реактивная мощность цепи:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi . \quad (6)$$

На рис. 2 изображены кривые u , i и p для случая, когда в цепи имеется смешанная активно-индуктивная нагрузка ($x_L - x_C$) > 0. Здесь мощность p колеблется с двойной частотой относительно линии, приподнятой над осью абсцисс на величину активной мощности $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$. Мгновенные значения мощности принимают как положительные, так и отрицательные значения, но энергия, поступающая от источника питания в рассматриваемую цепь, больше энергии, возвращаемой обратно.

Энергетический процесс в рассматриваемой схеме (рис. 1 г) состоит в колебании энергии между источником питания и цепью, при этом сопротивление r' нагревается не только вследствие выделения в нем активной мощности за счет активной нагрузки $\Delta P_a = (I \cdot \cos \varphi)^2 r'$, но и дополнительно за счет обмена энергией между источником питания и электромагнитным полем нагрузки $\Delta P_p = (I \cdot \sin \varphi)^2 r'$. Другими словами: при обмене энергии между генератором и магнитным полем и обратно в сети возникают дополнительные потери активной мощности, обусловленные передачей по сети реактивной мощности.

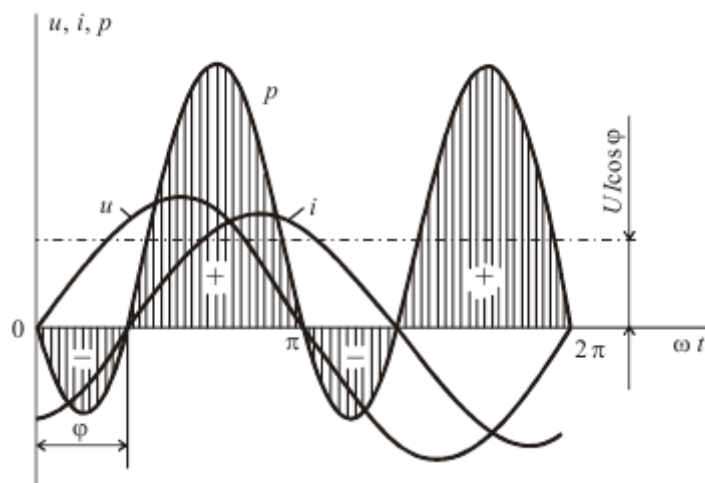


Рис. 2. Изменение напряжения, тока и мощности во времени в цепи со смешанной нагрузкой

Отношение реактивной мощности к активной характеризует коэффициент реактивной мощности цепи

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P}, \quad (7)$$

который выражает реактивную мощность в долях от активной. Здесь φ – угол сдвига фаз между током и напряжением нагрузки.

Коэффициент мощности цепи определяется косинусом угла сдвига фаз между током и напряжением нагрузки и для трехфазного тока выражается как

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I}. \quad (8)$$

Выражение

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}} \quad (9)$$

устанавливает связь между указанными коэффициентами.

Коэффициент мощности менее показателен при оценке реактивной мощности цепи.

1.2 Принцип компенсации реактивной мощности

Для электрической сети в целом требуется равенство генерации и потребления активной и реактивной мощности. Основным нормативным показателем поддержания баланса активной мощности в каждый момент времени является частота переменного тока, которая является общесистемным критерием. Основным нормативным показателем

поддержания баланса реактивной мощности в каждый момент времени является уровень напряжения – местный критерий, который для каждого узла нагрузки и ступени номинального напряжения существенно разный. Поэтому в отличие от баланса активной мощности необходимо обеспечить баланс и резерв реактивной мощности не только в целом в энергосистеме, но и в узлах нагрузки. Во многих случаях недопустимые уровни напряжения в узлах энергосистем в основном связаны с местным дефицитом реактивной мощности.

Мгновенная мощность цепи с емкостью отрицательная по отношению к мгновенной мощности в цепи с индуктивностью. Данное обстоятельство имеет большое практическое значение.

В схеме на рис. 3 а ток \dot{I} в неразветвленной части равен геометрической сумме токов и в параллельных ветвях схемы.

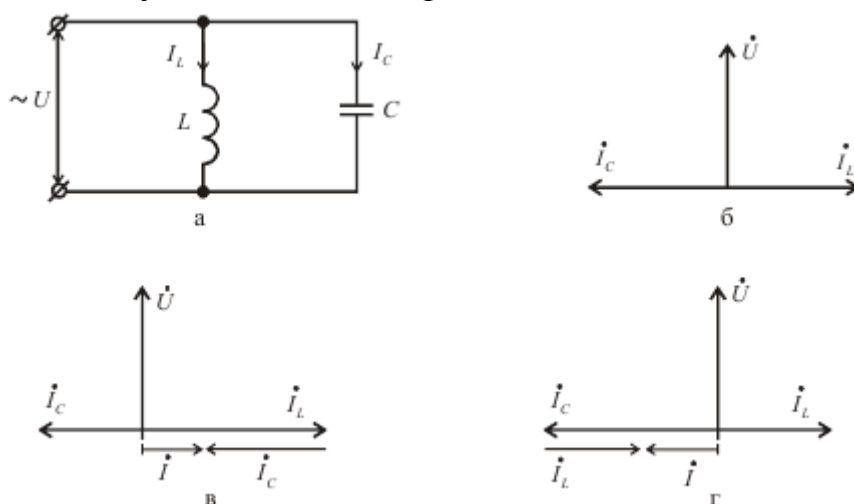


Рис. 3. Схема (а) и векторные диаграммы токов и напряжения (б, в, г) разветвленной цепи с индуктивностью и емкостью

Если проводимость цепи с индуктивностью b_L , а цепи с емкостью b_C , то

$$\dot{I} = \dot{I}_L + \dot{I}_C = \dot{U}(b_L - b_C) = \dot{U} \left(\frac{1}{x_L} - \frac{1}{x_C} \right) = \dot{U} \frac{x_C - x_L}{x_C \cdot x_L}. \quad (10)$$

В случае $x_C = x_L$ ток \dot{I} в неразветвленной части схемы равен нулю. Такой режим называется резонансом токов. Векторная диаграмма токов и напряжения этого режима показана на рис. 3 б. Если $x_L < x_C$, то ток имеет индуктивный характер, а при $x_C < x_L$ будет емкостным. Векторные диаграммы для этих двух случаев показаны на рис. 3 в и 3 г.

Из диаграммы на рис. 3 в видно, что при $x_L < x_C$ ток \dot{I} в неразветвленной части схемы меньше тока \dot{I}_L , текущего в ветви с индуктивностью. В этом случае

$$\dot{I}_L = \dot{I} + \dot{I}_C, \quad (11)$$

то есть, включая в схеме емкость параллельно с индуктивностью, компенсируется потребность индуктивности в реактивном токе, необходимом для создания магнитного поля, за счет емкости и тем самым снижается величина реактивного тока, потребляемого индуктивностью от источника.

Обмен энергией в этом случае будет происходить между индуктивностью и емкостью цепи, между индуктивностью же и источником питания будет происходить обмен только некомпенсированной частью энергии.

Реактивная мощность в неразветвленной части схемы на рис. 3 а составит:

$$Q = U \cdot I = U(I_L - I_C) = U(U \cdot b_L - U \cdot b_C) = U^2(b_L - b_C) = \frac{U^2}{x_L} - \frac{U^2}{x_C} = Q_L - Q_C. \quad (12)$$

Полученная в выражении (12) реактивная мощность Q и представляет собой некомпенсированную часть реактивной мощности Q_L . Мощность Q_C можно назвать компенсирующей мощностью или мощностью компенсирующей установки.

В целом снижение реактивной мощности, циркулирующей между источником питания и приемником, а следовательно, и снижение реактивного тока в генераторах и сетях называется компенсацией реактивной мощности.

На рис. 4 принцип компенсации тока намагничивания при помощи емкостного тока пояснен векторной диаграммой. Емкость конденсатора C , подключенного параллельно нагрузке, содержащей r и L , подбирается такой, чтобы ток \dot{I}_C , проходящий через него, был по возможности близок по абсолютной величине к намагничивающему току \dot{I}_L , потребляемому индуктивностью.

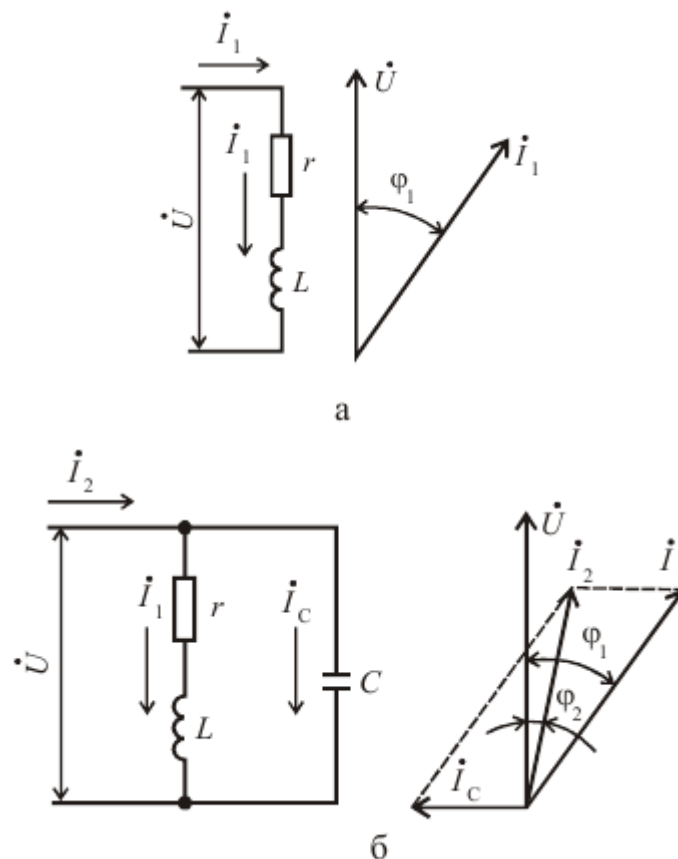


Рис. 4. Принцип компенсации реактивного тока намагничивания:
а – схема до компенсации, φ_1 – угол сдвига фаз между током \dot{I}_1 и напряжением \dot{U} ; *б* – схема с компенсацией. Угол сдвига фаз φ_2 между \dot{I}_2 и напряжением \dot{U} уменьшился ($\varphi_2 < \varphi_1$), а коэффициент мощности увеличился ($\cos\varphi_2 > \cos\varphi_1$)

Подключение конденсатора (рис. 4 б) позволило уменьшить угол сдвига фаз между током и напряжением нагрузки и соответственно повысить коэффициент мощности. Увеличивая емкость, можно полностью скомпенсировать реактивную мощность нагрузки.

Для оценки потребления реактивной мощности введен коэффициент мощности $\cos\varphi = P / S$ – показатель качества эксплуатации электроустановок переменного тока. Однако этот коэффициент недостаточно полно отражает ее потребление, так как при значениях $\cos\varphi$, близких к единице, потребляемая реактивная мощность еще достаточно велика.

Например, при высоком значении $\cos\varphi = 0,95$ потребляемая нагрузкой реактивная мощность составляет 33% потребляемой активной мощности (таблица 1). При $\cos\varphi = 0,7$ величина потребляемой реактивной мощности практически равна величине активной мощности.

Таблица 1 – Значение реактивной мощности в зависимости от $\cos\varphi$ (в процентах активной мощности)

$\cos\varphi$	1,0	0,99	0,97	0,95	0,94	0,92	0,9	0,87	0,8	0,7	0,5
$\operatorname{tg}\varphi$	0	0,14	0,25	0,33	0,36	0,43	0,484	0,55	0,75	1,02	1,73
Q	0	14	25	33	36	43	48	55	75	102	173

Более удачным показателем, характеризующим величину потребления реактивной мощности, является коэффициент реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi = Q / P$.

По величине $\cos\varphi$ и $\operatorname{tg}\varphi$ можно судить о том, какая часть потребляемой энергии полезно используется для совершения работы. В возможном приближении коэффициента мощности приемных устройств к единице в основном и заключается технико-экономическая проблема компенсации реактивной мощности.

1.3 Источники реактивной мощности промышленных предприятий

Понятие источники реактивной мощности (ИРМ) относят к любым устройствам, способным целенаправленно воздействовать на баланс реактивной мощности в электроэнергетической системе или системе электроснабжения объекта. Это воздействие может быть достигнуто увеличением (уменьшением) как генерируемой, так и потребляемой реактивной мощности. Источник реактивной мощности – это обязательно регулируемое устройство, мощность которого изменяется вручную или автоматически, дискретно (ступенями), плавно или плавно-ступенчато. Основным параметром регулирования ИРМ является напряжение в точке его подключения или реактивная мощность нагрузки, для компенсации которой он предназначен, или и то, и другое одновременно. Для повышения чувствительности регулирования в регулятор ИРМ вводят каналы, реагирующие на скорость изменения напряжения или реактивной мощности. Структура органов регулирования ИРМ и реализуемый закон регулирования определяются его назначением. Благодаря возможности регулирования реактивной мощности ИРМ является многофункциональным устройством.

В электрических системах ИРМ применяют в сетях напряжением 110 кВ и выше для решения следующих задач:

- снижения потерь активной мощности и электроэнергии;
- регулирования напряжения в узлах нагрузки;
- увеличения пропускной способности линий электропередачи;

- увеличения запасов статической устойчивости линий электропередачи и генераторов электростанций;
- улучшения динамической устойчивости линий электропередачи;
- ограничения перенапряжений;
- симметрирования режима.

В системах электроснабжения промышленных предприятий кроме перечисленного ИРМ используют с целью компенсации реактивной мощности, потребляемой мощной нагрузкой. Кроме этого, в системах с нелинейной (несинусоидальной) нагрузкой, генерирующей токи высших гармоник, ИРМ могут выполнять и роль фильтрокомпенсирующих устройств.

Регулируемая компенсация реактивной мощности обеспечивается с помощью шунтирующих устройств, подключаемых к шинам подстанции или нагрузки параллельно. Эти устройства можно разделить на две группы.

К первой группе ИРМ относятся вращающиеся синхронные машины: синхронные генераторы электростанций, синхронные компенсаторы, синхронные двигатели. Эти устройства позволяют плавно регулировать реактивную мощность как в режиме генерирования, так и потребления.

Ко второй группе относятся статические ИРМ или статические компенсаторы реактивной мощности. К ним относятся конденсаторные батареи, реакторы (но не токоограничивающие), устройства на базе преобразователей (выпрямители, инверторы) с искусственной коммутацией тиристоров или их комбинации.

Конденсаторные батареи способны регулировать генерируемую ими мощность только ступенчато. Для их коммутации (включения, отключения) применяют в сетях до 1000 В – контакторы, а в сетях 6/10 кВ и выше – выключатели либо тиристорные ключи (два тиристора или тиристорных блока, включенных встречно-параллельно).

Реактивную мощность, потребляемую реакторами, можно регулировать как ступенчато, используя для этого такую же, как и для конденсаторов, коммутационную аппаратуру, так и плавно с помощью тиристоров. К особой группе относятся насыщающиеся реакторы, способные плавно изменять потребляемую реактивную мощность параметрически без регулятора в зависимости от приложенного к нему напряжения в точке подключения.

В большинстве системных задач и тем более для систем электроснабжения промышленных предприятий должны применяться ИРМ, способные генерировать реактивную мощность. К таким ИРМ

относятся синхронные машины и конденсаторные батареи. Однако первые, обладая способностью плавно регулировать реактивную мощность (их достоинство), имеют большую инерционность, обусловленную постоянной времени системы возбуждения, что является их недостатком. Конденсаторные батареи, особенно коммутируемые тиристорами, обладают высоким быстродействием (10–20 мс) при ступенчатом регулировании реактивной мощности. В ряде задач, например, обеспечения статической устойчивости ступенчатое регулирование практически неприемлемо. Решение проблемы – применение комбинированных ИРМ, которые способны при высоком быстродействии плавно регулировать реактивную мощность. Такие ИРМ обычно состоят из регулируемой ступенчато конденсаторной батареи и плавно регулируемого реактора, включенных параллельно.

В отличие от конденсаторной батареи – устройства прямой компенсации, комбинированные ИРМ называют устройствами косвенной компенсации, имея в виду, что реактор в таком ИРМ выполняет вспомогательную роль, обеспечивая плавность регулирования, тогда как ИРМ в целом генерирует реактивную мощность. Источники реактивной мощности косвенной компенсации в зависимости от соотношения установленных мощностей конденсаторов и реакторов могут не только генерировать, но и потреблять реактивную мощность при плавном переходе от одного режима к другому. Однако при относительно большой мощности регулируемых тиристорами реакторов комбинированные ИРМ становятся источниками высших гармоник тока. И это – их недостаток, устранение которого возможно путем установки фильтров высших гармоник. Обычно роль фильтрокомпенсирующих устройств выполняют секционированные конденсаторные батареи. Для этого последовательно с конденсаторами включают небольшие реакторы, обеспечивая условия, при которых сопротивление цепи конденсатор – реактор близко к нулю на частоте настройки на компенсируемую гармонику.

1.4 Потребление реактивной мощности асинхронными двигателями

Асинхронные двигатели и трансформаторы потребляют около 75% вырабатываемой в системах реактивной мощности. Работа машин и аппаратов переменного тока, основанная на принципе электромагнитной индукции, сопровождается процессом непрерывного изменения магнитного потока в их магнитопроводах и полях рассеяния. Поэтому подводимый к ним поток мощности должен содержать не только активную составляющую P , но и реактивную составляющую

индуктивного характера Q_L , необходимую для создания магнитных полей, без которых процессы преобразования тока и напряжения невозможны.

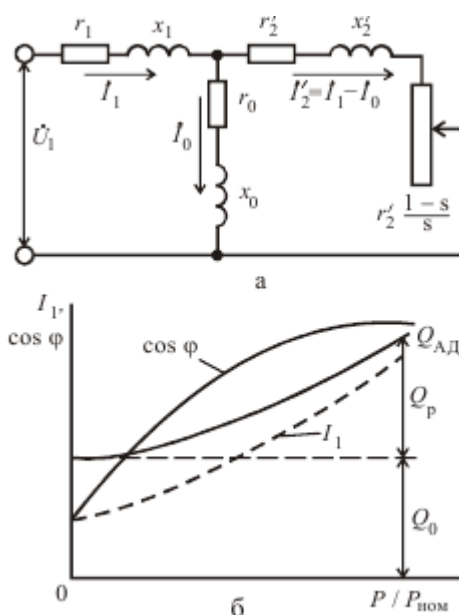


Рис.5. Схема замещения (а) и рабочие характеристики (б) асинхронного электродвигателя:

\dot{U}_1 – напряжение сети; I_1 – ток статора; I_2' – приведенный ток ротора; I_0 – ток ветви намагничивания; r_1, x_1 и r_2', x_2' – соответственно активные и реактивные сопротивления обмоток статора и ротора (приведенные); $r_2'(1-s)/s$ – эквивалентное сопротивление нагрузки (s – скольжение двигателя); r_0, x_0 – параметры ветви намагничивания

Реактивную мощность, потребляемую трехфазным асинхронным двигателем, можно определить с помощью его схемы замещения (рис. 5):

$$Q_{\text{Ад}} = 3 \cdot I_1^2 \cdot x_1 + 3 \cdot I_0^2 \cdot x_0 + 3 \cdot (I_2')^2 \cdot x_2' \approx \\ \approx 3 \cdot I_0^2 (x_1 + x_0) + 3 \cdot (I_2')^2 (x_1 + x_2') = Q_0 + Q_p$$

где I_0 - ток холостого хода, который можно считать чисто индуктивным ($\cos\phi=0$); Q_0 и Q_p - реактивная мощность холостого хода и короткого замыкания (рассеяния), значение Q_p зависит от приведенного тока нагрузки двигателя; нагрузочный ток I_2' можно считать чисто активным, так как $r_2'/s \gg x_2'$.

Реактивная мощность асинхронного двигателя изменяется в пределах от мощности холостого хода Q_0 , которая от нагрузки не зависит, до мощности, потребляемой при номинальной нагрузке $Q_{\text{ном}}$ (рис. 5 б).

Причем увеличение $Q_{\text{АД}}$ при росте нагрузки обусловлено потоками рассеяния, зависящими от тока нагрузки. Из рабочих характеристик наибольшую скорость изменения имеет $\cos\varphi$, и на холостом ходу он принимает наименьшее значение (рис. 5 б).

При номинальном напряжении потребляемая асинхронным двигателем реактивная мощность может быть выражена

$$Q_{\text{АД}} = Q_0 + \beta^2 \cdot Q_p,$$

где Q_0 - реактивная мощность холостого хода двигателя; Q_p - реактивная мощность рассеяния при номинальной нагрузке ($\beta = 1$); β - коэффициент загрузки асинхронного двигателя: $\beta = P / P_{\text{НОМ}}$.

Номинальная реактивная мощность асинхронного двигателя может быть определена по его паспортным данным:

$$Q_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \operatorname{tg}\varphi_{\text{НОМ}},$$

где $\eta_{\text{НОМ}}$ - номинальный КПД двигателя; $\operatorname{tg}\varphi_{\text{НОМ}}$ - соответствует $\cos\varphi_{\text{НОМ}}$, указанному на щитке; $P_{\text{НОМ}}$ - номинальная активная мощность двигателя, развиваемая на валу при номинальном напряжении.

Для асинхронных двигателей при холостом ходе $\cos\varphi_{\text{ХХ}} = 0,1-0,2$, чему соответствует $\sin\varphi_{\text{ХХ}} = 0,99-0,97$. Пренебрегая активной составляющей тока холостого хода двигателя, обусловленной механическими потерями и потерями в стали, можно принять $\sin\varphi_{\text{ХХ}} \approx 1$. Тогда реактивная трехфазная мощность может быть определена по соотношению:

$$Q_0 \approx \sqrt{3} \cdot I_{\text{ХХ}} \cdot U_{\text{НОМ}}$$

или по аналогии

$$Q_0 \approx \sqrt{3} \cdot I_{\text{ХХ}} \cdot U_{\text{НОМ}} = \sqrt{3} \cdot I_{\text{НОМ}} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}} \frac{I_{\text{ХХ}}}{I_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}}} =$$

$$\frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{I_{\text{ХХ}}}{I_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}}}$$

Погрешность в определении Q_0 составляет 1–3%. Ток холостого хода должен быть измерен при холостом ходе двигателя при $U_{\text{НОМ}}$ с расцепленной муфтой.

Реактивная мощность потоков рассеяния двигателя, зависящая от нагрузки, определяется из выражения:

$$Q_p = (Q_{\text{НОМ}} - Q_0) \cdot \beta^2 = \beta^2 \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \left(\operatorname{tg}\varphi_{\text{НОМ}} - \frac{I_{\text{ХХ}}}{I_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi_{\text{НОМ}}} \right).$$

Выражение полной реактивной мощности асинхронного двигателя:

$$Q_{\text{Ад}} = \frac{P \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\eta} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}} \left(\frac{I_{\text{XX}}}{I_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}} + \beta^2 \left(\operatorname{tg} \varphi_{\text{НОМ}} - \frac{I_{\text{XX}}}{I_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{НОМ}}} \right) \right).$$

где P , $\operatorname{tg} \varphi$ и η соответствуют данной нагрузке двигателя.

2 ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

Лабораторная работа проводится на стенде № 6. Установка состоит из стенда, исследуемого асинхронного двигателя типа АО 32-4, имеющий общий вал с нагрузочным генератором постоянного тока типа ЗДН-1000А и тахогенератором (ТГ), и потенциал-регулятора ИР-61-100.

Принципиальная электрическая схема стенда представлена на рис.

1.

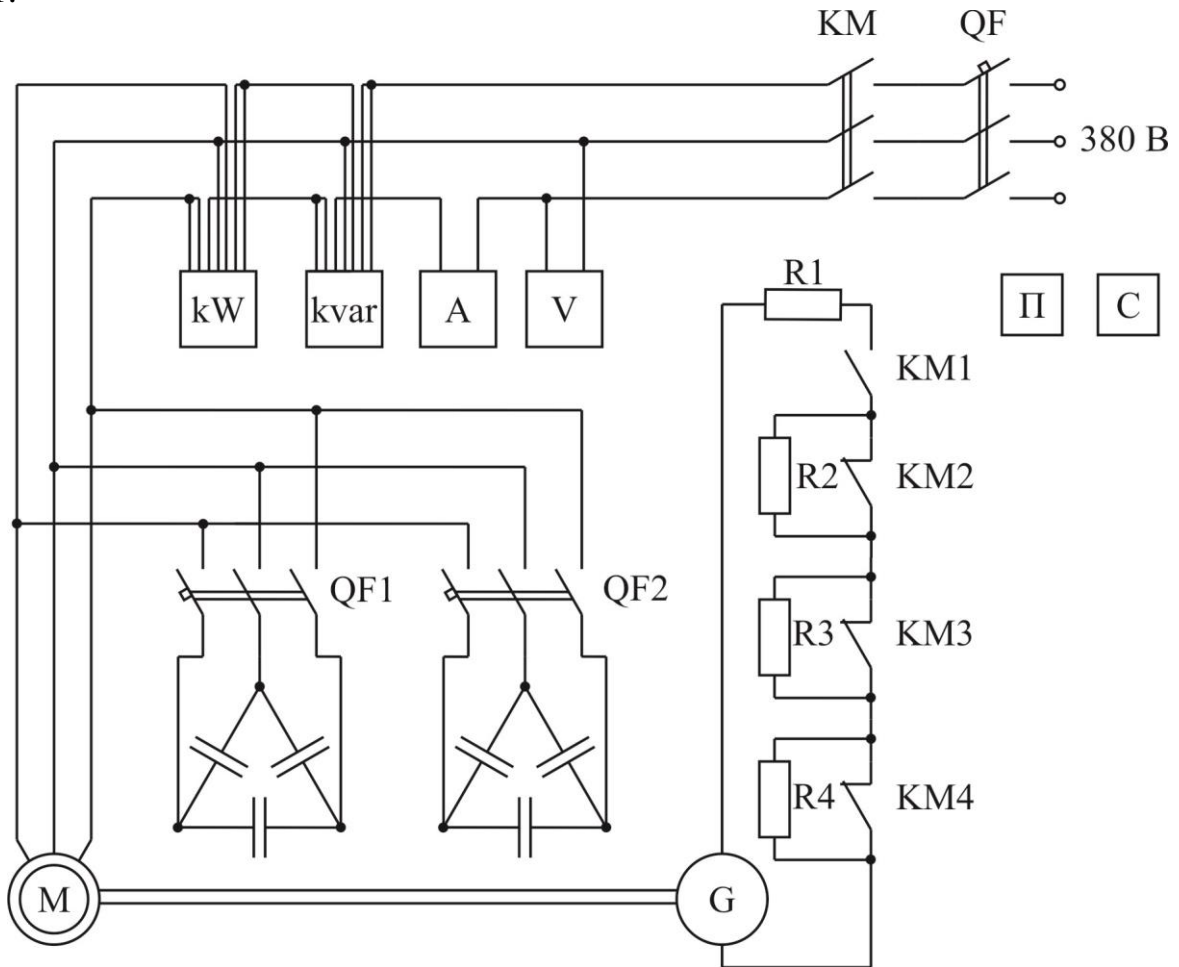


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема стенда

На схеме рис. 1 имеются элементы:

1. Киловаттметр kW, измеряющий потребляемую асинхронным двигателем из сети активную мощность P_n .

2. Киловарметр kvar, измеряющий потребляемую асинхронным двигателем из сети реактивную мощность Q .

3. Амперметр А для измерения тока I в цепи статора асинхронного двигателя.

4. Вольтметр V для контроля подводимого напряжения к

зажимам асинхронного двигателя.

5. Автомат QF подачи напряжения на стенд.

6. Магнитный пускатель КМ с кнопочной станцией «Пуск» («П») и «Стоп» («С») для пуска и остановки асинхронного двигателя.

7. Автоматические выключатели QF1 и QF2 для включения и отключения батарей статических конденсаторов к статорной обмотке асинхронного двигателя.

Нагрузка генератора постоянного тока содержит четыре ступени. Включение каждой ступени осуществляется магнитными пускателями:

- первая ступень 1СТ (25 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ1;

- вторая ступень 2СТ (50 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ2;

- третья ступень 3СТ (75 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ3;

- четвертая ступень 4СТ (100 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ4.

ВНИМАНИЕ! Отключение конденсаторов разрешается только после отключения и остановки асинхронного двигателя, что необходимо для разряда конденсаторов на обмотку статора.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, усвоившие теоретический материал по данной теме и ознакомившиеся с оборудованием лабораторной установки.

До начала проведения опытов убедиться, что лабораторный стенд обесточен (автомат QF находится в положении «отключено») и батареи статических конденсаторов отключены от сети автоматами $QF1$ и $QF2$.

1. Включением автомата QF подать напряжение на стенд, при этом загорится индикатор, указывающий номер стенда.

2. Нажатием кнопки «Пуск» включить магнитный пускатель КМ и тем самым подать питание от сети на все элементы схемы установки (вольтметр V покажет линейное напряжение питающей сети, а асинхронный двигатель запустится в режиме холостого хода).

Снять показания приборов амперметра A , киловаттметра kW и прибора, фиксирующего потребление двигателем реактивной мощности ($kvar$) при холостом ходе двигателя.

3. Постепенно увеличивая нагрузку (включением магнитного пускателя КМ1, затем КМ2, КМ3 и КМ4) в пределах каждой из четырех ступеней нагрузки асинхронного двигателя и контролируя ее по амперметру A , снять показания приборов, перечисленных в п.2.

При ведении экспериментов во избежание перегрева токоведущих частей лабораторной установки и в целях экономии электрической энергии, необходимо, по возможности, сокращать время работы двигателя в режиме больших нагрузок.

4. Отключить двигатель кнопкой «Стоп» пускателя КМ и снять нагрузку. Сделать контрольные нажатия на кнопки «Стоп» магнитных пускателей КМ1, КМ2, КМ3, КМ4.

5. Включить автоматическим выключателем $QF1$ сначала одну секцию батарей конденсаторов и, включив двигатель, повторить опыты, описанные в пп.2 и 3.

6. Повторить опыты по п.5 дополнительно подключив автоматом $QF2$ вторую секцию батарей конденсаторов.

7. После проведения опытов отключить лабораторный стенд.

ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, схемой и провести исследования, указанные в разделе «Цель работы».

Паспортные данные электродвигателя: $P_n = 1,0$ кВт; $U_n = 380$ В; $I_n = 2,4$ А; $\cos \varphi = 0,79$; $\eta = 78,5\%$; $n_n = 1450$ об/мин.; $I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_n$.

2. Опытным путем определить зависимость потребления реактивной мощности из сети при различной загрузке двигателя, которая характеризуется коэффициентом β , равным

$$\beta = \frac{P}{P_n} = \frac{P_n \cdot \eta}{P_n},$$

где P – мощность, развиваемая двигателем на валу; P_n – номинальная мощность двигателя; P_n – мощность, потребляемая двигателем из сети при нагрузке на валу, равной P

$$P_n = \frac{P}{\eta},$$

где η – КПД двигателя при нагрузке на валу, P – определяется из графика (рис. 2).

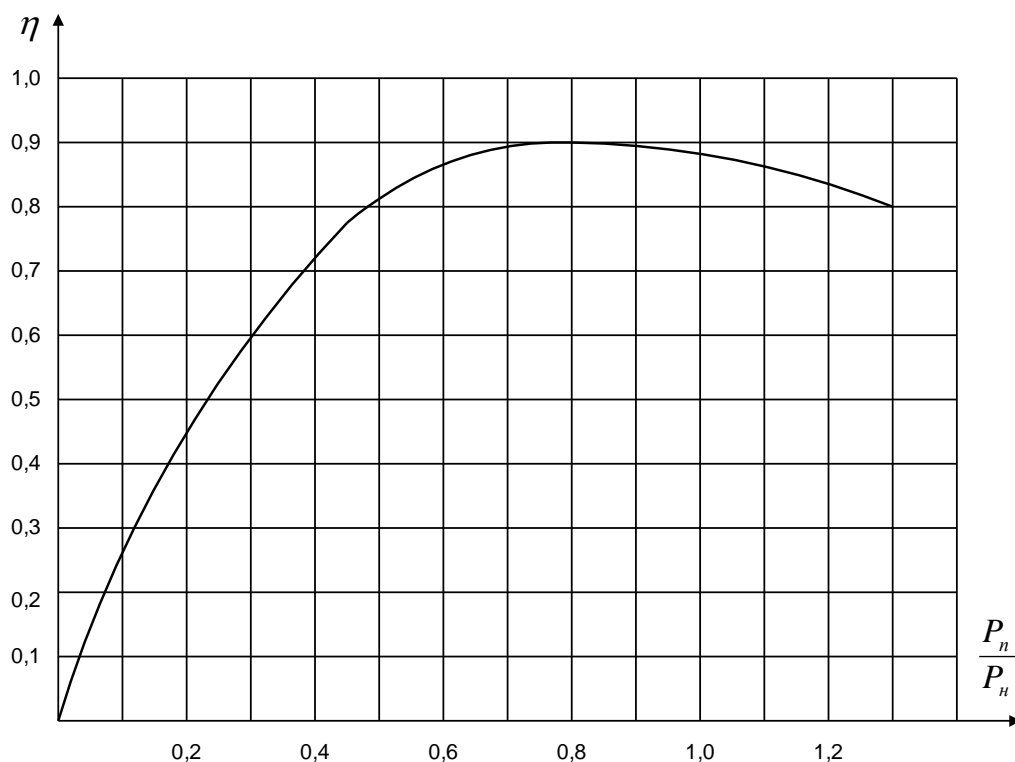


Рис. 1. Зависимость КПД от мощности, потребляемой из сети

3. Провести улучшение (увеличение) $\cos \varphi$ двигателя путем параллельного подключения конденсаторов, записывая показания приборов в таблицу и построить графики зависимостей $I = f(\beta)$, $P = f(\beta)$, $Q = f(\beta)$ до и после компенсации, а также $\cos \varphi = f(\beta)$ до и после подключения конденсаторов.

4. Сделать выводы по работе.

4. Шаблон отчета.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЭПП



Отчёт по лабораторной работе №6 «ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ»

Выполнил:

студент гр.

Проверил:

Томск 201__

Цель работы:

1. Уяснение цели повышения коэффициента мощности на предприятии.
2. Исследование влияния нагрузки электрооборудования на значение коэффициента мощности.
3. Исследование влияния установки компенсирующих устройств на величину тока в питающей линии.
4. Исследование зависимости потребления реактивной мощности асинхронного двигателя от его загрузки.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на стенде № 6. Установка состоит из стенда, исследуемого асинхронного двигателя типа АО 32-4, имеющий общий вал с нагрузочным генератором постоянного тока типа ЗДН-1000А и тахогенератором (ТГ), и потенциал-регулятора ИР-61-100.

Принципиальная электрическая схема стенда представлена на рис.

1.

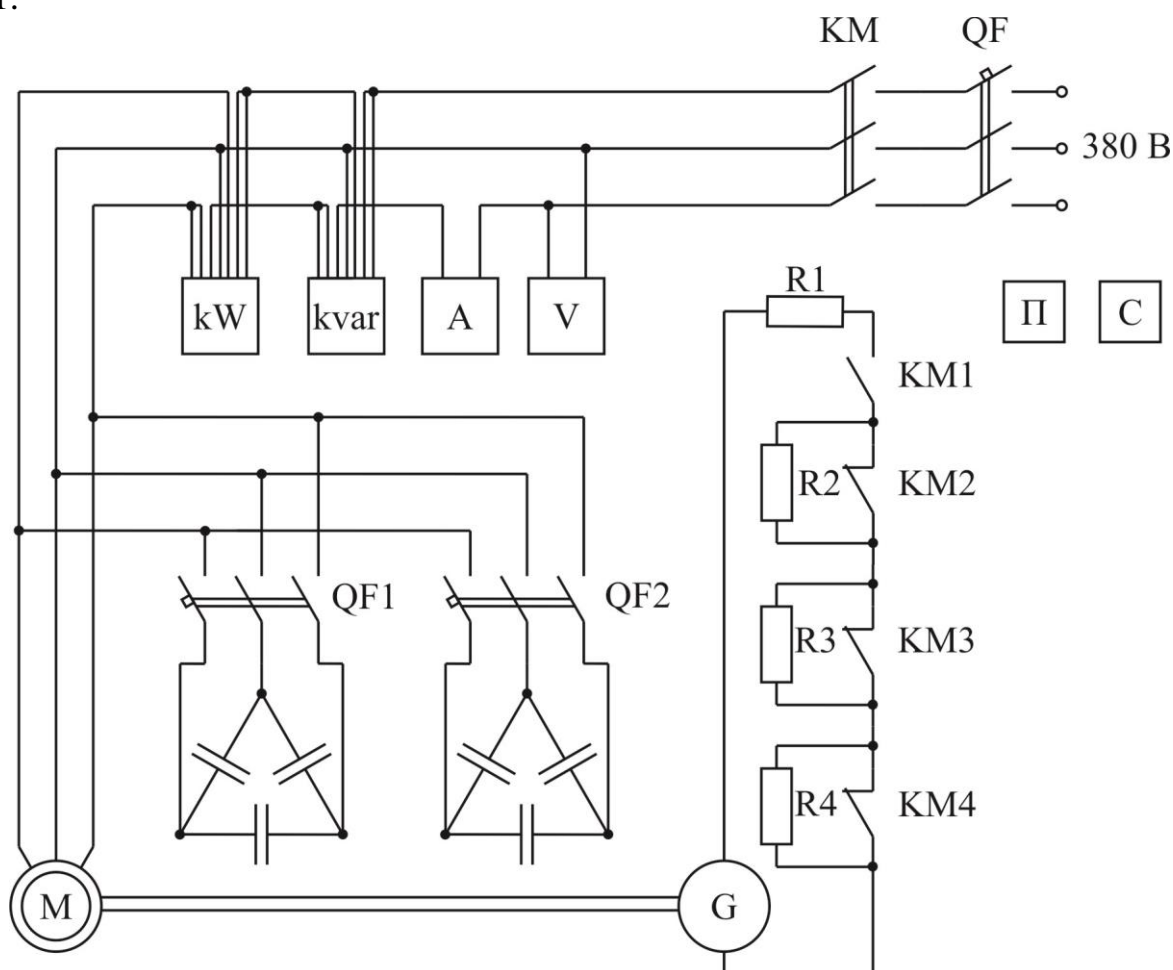


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема стенда

На схеме рис. 1 имеются элементы:

8. Киловаттметр kW, измеряющий потребляемую асинхронным двигателем из сети активную мощность $P_{п}$.

9. Киловарметр kvar, измеряющий потребляемую асинхронным двигателем из сети реактивную мощность Q .

10. Амперметр А для измерения тока I в цепи статора асинхронного двигателя.

11. Вольтметр V для контроля подводимого напряжения к зажимам асинхронного двигателя.

12. Автомат QF подачи напряжения на стенд.

13. Магнитный пускатель КМ с кнопочной станцией «Пуск» («П») и «Стоп» («С») для пуска и остановки асинхронного двигателя.

14. Автоматические выключатели QF1 и QF2 для включения и отключения батарей статических конденсаторов к статорной обмотке асинхронного двигателя.

Нагрузка генератора постоянного тока содержит четыре ступени. Включение каждой ступени осуществляется магнитными пускателями:

- первая ступень 1СТ (25 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ1;

- вторая ступень 2СТ (50 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ2;

- третья ступень 3СТ (75 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ3;

- четвертая ступень 4СТ (100 %) нажатием кнопки «Пуск» («П») (черная кнопка) магнитного пускателя КМ4.

ВНИМАНИЕ! Отключение конденсаторов разрешается только после отключения и остановки асинхронного двигателя, что необходимо для разряда конденсаторов на обмотку статора.

Для данного двигателя на рис. 2 представлены зависимость коэффициента полезного действия от его загрузки.

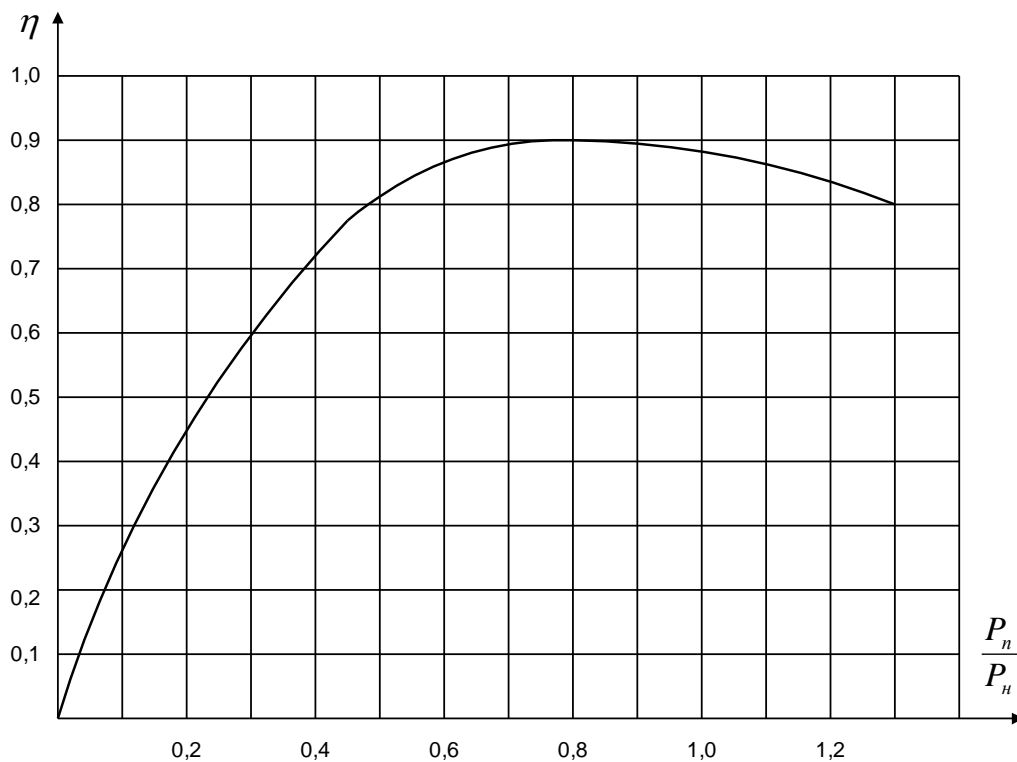


Рис. 2. Зависимость КПД двигателя от его загрузки

Проведение экспериментов

Экспериментальные данные опытов по лабораторной установке представлены в таблице 1.

Расчетные данные определены для одного случая, остальные рассчитываются аналогичным образом приведены в таблице 1.

Коэффициент загрузки асинхронного двигателя составляет

$$\beta = \frac{P}{P_n} = \frac{P_n \cdot \eta}{P_n}$$

Коэффициент полезного действия определяется по рисунку 2 и равен

Т а б л и ц а 1 – Опытные и расчетные данные

<i>Данные опыта</i>					<i>Расчетные величины</i>				
Напряжение сети U , кВ	Потребляемый двигателем ток I , А	Потребляемая активная мощность P_n , кВт	Показания киловарметра Q , Квар	Фактическая потребляемая реактивная мощность $Q_{\text{факт}} = K \cdot Q$,	$\beta =$ $= \frac{P_n \cdot \eta}{P_H}$	η	$S =$ $= \sqrt{P_n^2 + Q_{\text{факт}}^2}$	$\cos\varphi =$ $= \frac{P_n}{S}$	$\text{tg}\varphi =$ $= \frac{Q_{\text{факт}}}{P_n}$

По полученным данным на рис.3 построена зависимость вида $P_n = f(\beta)$ до и после включения батареи конденсаторов.

По полученным данным на рис.4 построена зависимость вида $Q_{\text{факт}} = f(\beta)$ до и после включения батареи конденсаторов.

По полученным данным на рис.4 построена зависимость вида $\cos\varphi = f(\beta)$ до и после включения батареи конденсаторов.

Вывод по работе:

5 ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Понятие реактивной мощности и энергии.
2. Что такое «треугольник» мощностей и сопротивлений?
3. Основные потребители реактивной мощности и энергии.
4. Физическое явление, положенное в основу поперечной компенсации.
5. Физическое явление, положенное в основу продольной компенсации.
6. Преимущества и недостатки поперечной компенсации.
7. Преимущества и недостатки продольной компенсации.
8. Статические источники реактивной мощности.
9. Вращающиеся источники реактивной мощности.
10. Точки подключения компенсирующих устройств.
11. Схемы подключения высоковольтных конденсаторных батарей.
12. Схемы подключения низковольтных конденсаторных батарей.
13. Передача реактивной мощности и энергии по электрическим сетям.
14. Векторные диаграммы токов и напряжений для электрических цепей с катушкой, конденсатором и резистором.
15. Влияние загрузки асинхронных двигателей на потребление реактивной энергии.

6 ГЛОССАРИЙ

1. **Коэффициент мощности** — безразмерная физическая величина, характеризующая потребителя переменного электрического тока с точки зрения наличия в нагрузке реактивной составляющей. Коэффициент мощности показывает, насколько сдвигается по фазе переменный ток, протекающий через нагрузку, относительно приложенного к ней напряжения.

2. **Конденсаторная установка** – электроустановка, состоящая из конденсаторов, относящегося к ним вспомогательного электрооборудования (выключателей, разъединителей, разрядных резисторов, устройств регулирования, защиты и т. п.) и ошиновки.

3. **Конденсаторная батарея** – группа единичных конденсаторов, электрически соединенных между собой.

4. **Единичный конденсатор** – конструктивное соединение одного или нескольких конденсаторных элементов в общем корпусе с наружными выводами.

5. **Печной силовой трансформатор (трансформаторный агрегат) или автотрансформатор** – соответственно трансформатор или автотрансформатор ЭТУ, преобразующий электроэнергию переменного тока с напряжения сети на рабочее напряжение электрической печи (электронагревательного устройства).

6. **Электросварочная установка** - комплекс функционально связанных элементов соответствующего электросварочного и общего назначения электротехнического, а также механического и другого оборудования, средств автоматики и КИП, обеспечивающих осуществление необходимого технологического процесса.

7. **Точка коммерческого контроля КЭ** – точка общего присоединения, граница раздела балансовой принадлежности, или другая точка электрической сети, принятая по согласованию между энергоснабжающей организацией и потребителем в качестве точки сети, в которой при наличии претензий какой-либо из сторон договора будет производиться проверка соблюдения договорных условий по КЭ и расчеты за их нарушение.

8. **Центр питания** – распределительное устройство генераторного напряжения электростанции или распределительное

устройство вторичного напряжения (6000 В и выше) под-станции энергоснабжающей организации, к которым присоединены электрические сети данного района (региона) по месторасположению потребителей.

9. **Распределительная электрическая сеть** – электрическая сеть, присоединенная к центру питания, обеспечивающая распределение электрической энергии между потребителями электрической энергии или обеспечивающая передачу электрической энергии организациям, заключающим договора энергоснабжения с потребителями.

10. **Трансформаторная подстанция** – электрическая подстанция, предназначенная для преобразования электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения с помощью трансформаторов

11. **Потребитель электрической энергии (тепла)** – Предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка, квартира, у которых приемники электрической энергии (тепла) присоединены к электрической (тепловой) сети и используют электрическую энергию (тепло)

12. **Система электроснабжения общего назначения** – совокупность электроустановок и электрических устройств, предназначенных для обеспечения электрической энергией различных потребителей электрических сетей.

13. **Качество электрической энергии** – степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей КЭ.

14. **Экономический ущерб от снижения качества электрической энергии** – выраженные в стоимостном исчислении убытки от снижения производительности или повреждения электротехнических устройств и электрооборудования, а также другие затраты, возникающие в связи с ухудшением качества электрической энергии.

15. **Пункт регулирования напряжения** – пункт системы электроснабжения, к которому подключены устройства, регулирующие напряжение.

7 ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab/react_m_K.pdf. А.В. Кабышев. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие.
2. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B9_%D0%BC%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8. Компенсация реактивной мощности. Свободная энциклопедия «Википедия».
3. <http://www.gosthelp.ru/gost/gost3761.html>. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. <http://www.ukkz.com/?start=products>. Компенсация реактивной мощности. ТОО «Усть – Каменогорский конденсаторный завод».
5. http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=52. Портал по энергосбережению «ЭнергоСовет».