

Методы и технические средства сбережения электрической энергии в типовых технологических процессах

Бутаков Сергей Владимирович, доцент кафедры энергообеспечения, электротехники и электроники

Методы и технические средства сбережения электрической энергии:

- в системах электроснабжения (силовые трансформаторы, кабельные сети, компенсация реактивной мощности, электрическое освещение);
- в электроприводе (нерегулируемый электропривод, регулируемый электропривод);
- в системах вентиляции;
- в насосных установках;
- в системах сжатого воздуха (компрессорах).

Литература:

1. Шеховцов В.П. Осветительные установки промышленных и гражданских объектов. – М.: ФОРУМ, 2009. – 160 с.
2. Ляхомский А.В., Бабокин Г.И. Управление энергетическими ресурсами горных предприятий. – М.: Изд-во МИСиС, 2012. – 232 с.
3. Ильинский Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Ф. Ильинский, В.В Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.

Перечень типовых, общедоступных мероприятий в системах электроснабжения и электропотребления

Вывод из работы малозагруженных трансформаторов, отключение в ТП трансформаторов, работающих на холостом ходу.

Выравнивание нагрузки по фазам.

Ревизия болтовых контактных соединений в РУ, устранение их перегрева.

Установка, при необходимости, у наиболее крупных потребителей электроэнергии компенсаторов реактивной мощности.

Замена коммерческих электросчетчиков на современные с классом точности не менее 1

Организация технического учета электроэнергии производственными подразделениями и наиболее крупными отдельными потребителями.

Создание на предприятии автоматизированной системы контроля и учета потребляемых энергоресурсов (АСКУЭ), ежедневный мониторинг энергопотребления предприятием.

Замена в системах наружного освещения светильников с ЛН и ДРЛ на энергоэффективные светильники

Установка системы управления наружным освещением в зависимости от освещенности.

Перечень типовых, общедоступных мероприятий в системах электроснабжения и электропотребления

Максимальное использование естественного света: промывка окон, зенитных фонарей, окраска стен в светлые тона.

Отключение части ламп или светильников в помещениях с завышенной освещенностью.

Замена электродвигателей, имеющих загрузку менее 50%, на электродвигатели меньшей мощности.

Приведение электродвигателей в нормальное техническое состояние: восстановление отсутствующих крыльчаток и их защитных кожухов, очистка корпусов статоров от грязи и посторонних предметов, замена смазки подшипников, при необходимости их замена. Защита электродвигателей от попадания в них капельной влаги.

Применение для электродвигателей, имеющих тяжелые условия разгона, аппаратов плавного пуска.

Применение для электродвигателей, имеющих существенно переменную нагрузку, частотного регулирования скорости вращения (ЧРП) в зависимости от значения поддерживаемого параметра (давления, разряжения, перепада давлений).

1. Электросбережение в системах электроснабжения

При передаче электроэнергии от источника по линии электроснабжения теряется 10 – 5 % электроэнергии.

1.1 Снижение потерь электрической энергии в силовых трансформаторах

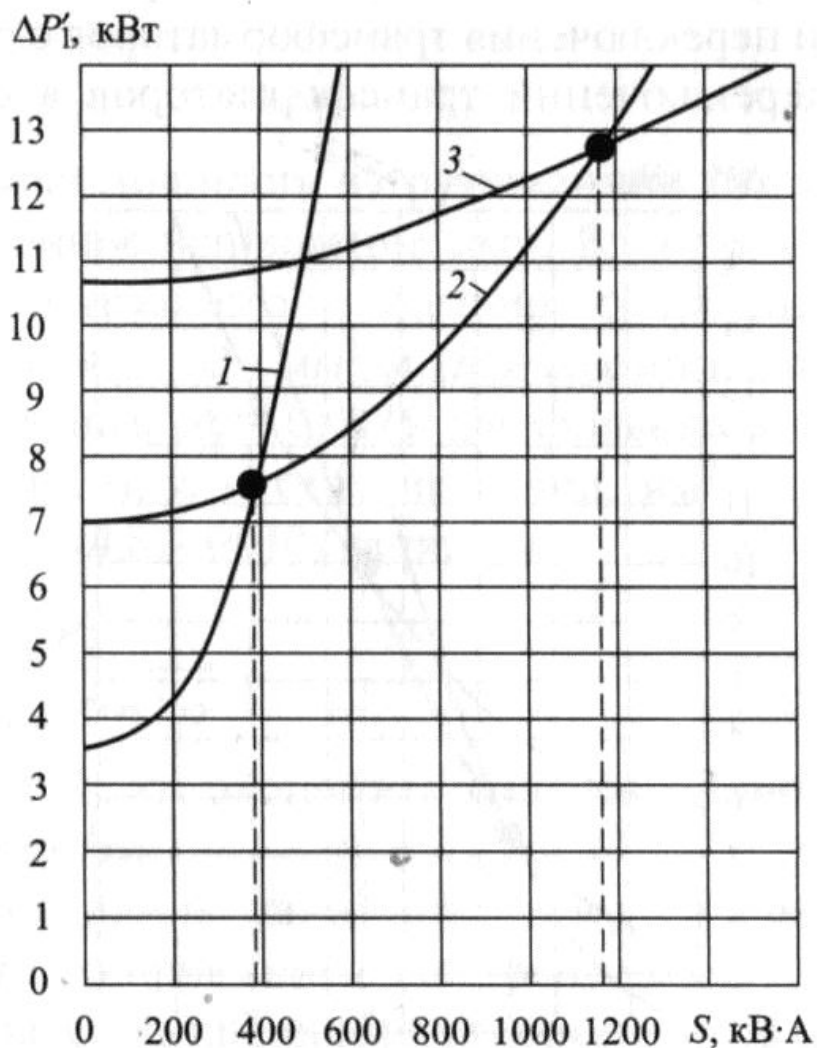
КПД трансформаторов высок – при загрузке трансформатора примерно на 70 % его КПД максимален (95-99%). При уменьшении нагрузки КПД уменьшается. Поэтому неэффективна работа трансформаторов при малой нагрузке и на холостом ходу.

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_\phi}{S_{\text{Т.НОМ}}} \right)^2$$

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_\phi}{S_{\text{Т.НОМ}}} \right)^2$$



На подстанции установлено три трансформатора ТМ мощностью по 630 кВа.

Рис - Приведённые потери активной мощности для определения экономически целесообразного режима работы трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ:

- 1 – изолированная работа трансформатора 630 кВА;
- 2 – параллельная работа двух трансформаторов по 630 кВА;
- 3 – параллельная работа трех трансформаторов по 630 кВА

1.2 Снижение потерь электроэнергии в кабельных сетях

Экономить электроэнергию можно путем:

- Сокращения длины линии;
- Увеличения сечений линии до экономически целесообразных значений, определяемых технико-экономическими расчетами;
- Повышение коэффициента мощности $\cos\varphi$ электроустановок;
- Увеличение напряжения сети.

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{\rho l_{\text{л}} P_{\text{л}}^2}{s_{\text{л}} U_{\text{л.ном}}^2 \cos^2 \varphi}$$

Сокращение длины кабельных линий возможно при реконструкции электроснабжения путем:

- применения глубокого ввода высокого напряжения к цехам, где устанавливают понижающие подстанции;
- рационального выбора мест размещения подстанций по территории предприятия.

Потери электроэнергии в сети могут быть уменьшены, если под нагрузку параллельно основной линии включить резервную. В этом случае, если линии имеют одинаковую длину и сечение проводов, потери электроэнергии уменьшатся в 2 раза.

Потери активной мощности в кабельных линиях и сетях определяются:

$$\Delta P_{\text{л}} = 1,1n\rho I_{\text{л}}^2 \frac{l_{\text{л}}}{S_{\text{л}}} 10^{-3}, \text{ кВт},$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий сопротивление переходных контактов и способа прокладки линий;

n – число фаз линии;

ρ – удельное сопротивление материала линии, Ом·мм²/м;

$I_{\text{л}}$ – среднее значение фазного тока в линии, А;

$l_{\text{л}}$ – длина линии, м;

$S_{\text{л}}$ – сечение проводов линии (сети), мм².

По данной формуле можно рассчитать экономию ЭЭ в сети при переводе ее на более высокое напряжение с изменением сечения проводов; при замене сечения проводов, их материала и сокращении длины линии без изменения напряжения.

1.3 Снижение потерь электроэнергии путем компенсации реактивной мощности

При передаче электроэнергии от источника к приемнику в системе электроснабжения имеются потери активной мощности:

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\Phi}}{S_{Т.НОМ}} \right)^2$$

где I – ток в фазе линии, R – сопротивление фазы линии.

Полная мощность, передаваемая по сети, равна:

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\Phi}}{S_{Т.НОМ}} \right)^2$$

В результате после подстановки получим:

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\Phi}}{S_{Т.НОМ}} \right)^2$$

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

где

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\Phi}}{S_{Т.НОМ}} \right)^2$$

- потери активной мощности при передаче активной мощности

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{ин} \frac{S_{Т.НОМ} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\Phi}}{S_{Т.НОМ}} \right)^2$$

- потери активной мощности при передаче реактивной мощности

Компенсация (уменьшение) реактивной мощности позволяет уменьшить потери активной мощности и напряжения в линии, снизить ток в линии, уменьшить полную мощность трансформатора (появляется возможность подключения дополнительной мощности).

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_k + k_{\text{ин}} \frac{S_{\text{норм}} k_{\%}}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{\text{ин}} \frac{S_{\text{норм}} k_{\%}}{100} \right) \left(\frac{S_D}{S_{\text{норм}}} \right)^2$$

при $\cos \varphi = 0,93$, $\operatorname{tg} \varphi_D = 0,39$

Снижение потерь путем увеличения напряжения требует установку высоковольтной изоляции, уменьшение сопротивления линии требует дополнительных затрат на увеличение сечения и использование материала с меньшим удельным сопротивлением, уменьшение активной мощности требует выработку электроэнергии на месте.

Основные потребители реактивной мощности:

1. Асинхронные двигатели (45 – 60 % от общей реактивной мощности предприятия);
2. Трансформаторы всех ступеней трансформации (15 – 25 %);
3. Электротехнологические установки (8 – 12 %);
4. Люминесцентные лампы (5 – 8 %).

Для компенсации реактивной мощности уменьшают потребление реактивной мощности за счет изменения режима работы приемника или используются специальные компенсирующие устройства:

-Конденсаторные батареи (нашли наибольшее применение на предприятиях)

достоинства – малые потери активной мощности (0,003-0,005 кВт на 1 квар); простота и дешевизна в обслуживании; низкие удельные габариты и масса; отсутствуют механические вращающиеся детали и фундамент; возможность установки вблизи к электроприемникам; возможность регулирования реактивной мощности в автоматизированных конденсаторных установках;

недостатки – зависимость генерируемой реактивной мощности от напряжения и частоты сети; чувствительность к наличию высших гармоник тока и напряжения сети (приводит к дополнительному нагреву конденсаторов).

- **Синхронные двигатели** – мощностью 0,4 – 12 МВт применяются для привода компрессоров, вентиляторов, насосов. Имеют номинальный опережающий $\cos\varphi=0,9$ и могут длительно работать в режиме генерации реактивной мощности. Достоинство – плавное регулирование реактивной мощности путем изменения тока возбуждения с помощью статического управляемого выпрямителя. В сетях до 1 кВ и 6 – 10 кВ целесообразно использовать для компенсации реактивной мощности СД установок и механизмов предприятия.
- **Синхронные компенсаторы** – синхронные двигатели облегченной конструкции без нагрузки на валу мощностью 5 – 75 Мвар. Достоинства – плавное и автоматическое регулирование генерируемой реактивной мощности, независимость генерации реактивной мощности от напряжения на его зажимах. Недостатки – большие потери активной мощности в них по сравнению с другими КУ, значительный шум в работе. Целесообразно применять при необходимости генерации изменяющейся во времени значительной реактивной мощности.

- **Статические тиристорные компенсаторы** – включают конденсаторные батареи с тиристорными переключателями для регулирования реактивной мощности. Также могут содержать фильтры высших гармоник напряжения и тока (фильтрокомпенсирующие устройства ФКУ). Обладают высоким быстродействием и применяются в схемах электроснабжения с резкопеременной нагрузкой.

Как правило, на предприятиях со спокойной нагрузкой для компенсации реактивной мощности применяются статические конденсаторы с регулируемой емкостью батарей и СД, работающие в режиме перевозбуждения.

Выбор КУ для конкретной сети электроснабжения осуществляется путем технико-экономического анализа, в результате которого сопоставляются снижение стоимости потерь ЭЭ и затрат на установку КУ. Наибольший экономический эффект достигается при размещении КУ в непосредственной близости от приемника (на низкой стороне трансформатора).

Единичная, групповая и централизованная компенсация реактивной мощности. **Поперечная и продольная компенсация.**

2. Электросбережение в электроприводе

Системы электропривода с рабочими механизмами потребляют 55-60 % от вырабатываемой в стране электроэнергии.

Электродвигатели приводят в действие вентиляторы, компрессоры, насосы и другое массово применяемое оборудование.

Уровень потерь электроэнергии в системах с электроприводом достаточно высок и составляет 20-40 %.

2.1 Электросбережение в нерегулируемом электроприводе

Часто электродвигатели работают с недогрузкой (20-70 % от номинальной нагрузки). При этом КПД уменьшается. Также уменьшается $\cos\phi$, что приводит к увеличению тока и повышенным потерям активной мощности.

Основные причины недогрузки:

- осторожный, с запасом, выбор мощности электродвигателя;
- реконструкция механизма, приведшая к снижению нагрузки.

В целях энергосбережения в нерегулируемом электроприводе необходимо:

- Организационными и технологическими мерами обеспечить загрузку двигателя в пределах 70-100 % его номинальной мощности, при которой он имеет максимальные КПД и коэффициент мощности;
- Исключить работу электропривода на холостом ходу;
- Обеспечить должное внимание при обслуживании электродвигателя и механизма (смазка подшипников и передачи редуктора, очистка двигателя и редуктора от загрязнения и др.);

Если средняя нагрузка электродвигателя составляет:

- **менее 45 % номинальной мощности, то целесообразна замена его менее мощным электродвигателем;**
- **от 45 до 70 % - целесообразность замены должна быть обоснована технико-экономическим анализом;**
- **более 70 % - замена электродвигателя нецелесообразна.**

Один из путей энергосбережения – снижение напряжения питания асинхронного двигателя при недогрузке.

При этом уменьшаются магнитные потери (пропорционально квадрату напряжения) и снижается потребление реактивной мощности.

Регулирование напряжения возможно следующим образом:

- Переключение обмоток асинхронного двигателя с треугольника в звезду;
- Устройство плавного пуска или тиристорный регулятор напряжения.

Переключение обмоток статора АД с треугольника в звезду

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n (\Delta P_{\pm L} \frac{S_{T,ном} I_x \%}{S_{\Phi}}) + \frac{1}{n} (\Delta P_{\pm L} \frac{S_{T,ном} u_k \%}{S_{\Phi}}) (\frac{S_{\Phi}}{n})^2$$

Уменьшается ток холостого хода и реактивная мощность намагничивания, которая идет на создание главного магнитного потока двигателя. Уменьшаются магнитные потери, растет КПД и $\cos\phi$.

При этом максимальный момент АД уменьшается в три раза; при неизменной номинальной нагрузке на валу АД скольжение увеличивается более, чем в три раза; увеличивается ток ротора и статора, растет потребление реактивной мощности рассеяния.

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{\text{ип}} \frac{S_{\text{т.ном}} I_x \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{\text{ип}} \frac{S_{\text{т.ном}} u_k \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{т.ном}}} \right)^2$$

Переключение обмоток статора АД с треугольника в звезду целесообразно осуществлять при нагрузке АД 5 – 40 % от номинальной.

При включении обмоток статора в схему «звезда» двигатель по условиям нагрева не может нести нагрузку более 60 %.

Современные пускатели реализуют возможность переключения обмотки АД с треугольника в звезду и наоборот.

Плавное регулирование напряжения обмоток статора АД

Осуществляется с помощью **тиристорных регуляторов напряжения** или **устройств плавного пуска**.

Энергетическая оптимизация АД: **1) по минимуму потерь активной мощности** (наиболее целесообразна), **2) по минимуму тока статора**, **3) по минимуму потребляемой активной мощности**.

Автоматически поддерживается постоянное скольжение АД при изменении нагрузки на его валу путем изменения напряжения на зажимах двигателя с помощью регулятора напряжения.

Существенное снижение потерь активной мощности (в 2,5-3 раза) при снижении напряжения статора будет при коэффициентах нагрузки АД менее 0,4.

Если время работы электропривода на холостом ходу превышает 10 с, то отключение двигателя приведет к экономии электроэнергии в электроприводе.

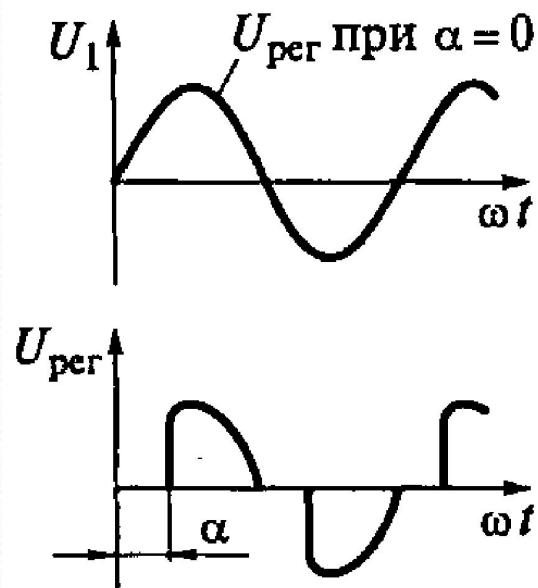
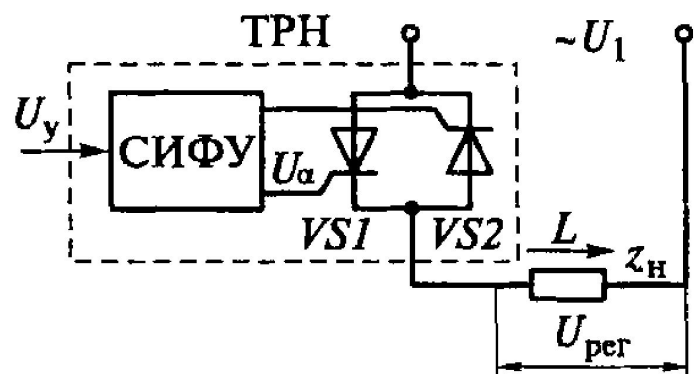
Система «регулятор напряжения – АД» имеет дополнительные преимущества:

1. Устраняются ударные пусковые токи в питающей сети и АД до любых значений путем плавного изменения напряжения статора АД по различным законам.
2. Устраняются механические ударные моменты при пуске за счет плавного изменения пускового момента регулированием напряжения статора.
3. Снижаются пусковые тепловые нагрузки АД и повышается надежность и срок службы АД.

Современные тиристорные регуляторы напряжения обеспечивают:

- плавный пуск с ограничением пускового тока и момента;
- пуск с любым законом тока и момента;
- плавное торможение механизмов по различным законам;
- защиту от короткого замыкания в сети и АД, от перегрузки АД, обрыва фаз питающей сети, от перегрева АД.

Схема однофазного тиристорного регулятора напряжения



Схемы включения тиристорного регулятора напряжения на трехфазной нагрузке

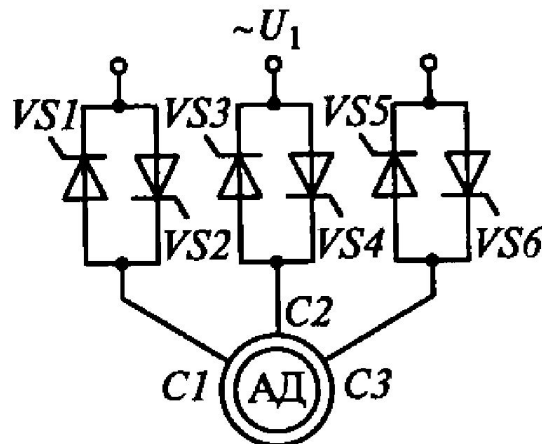
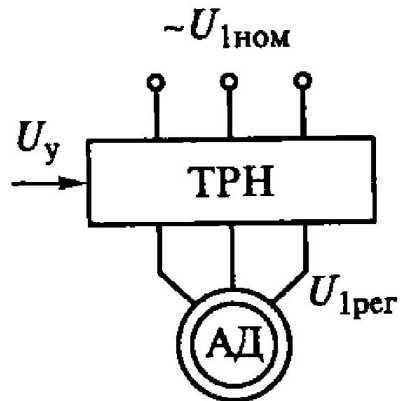
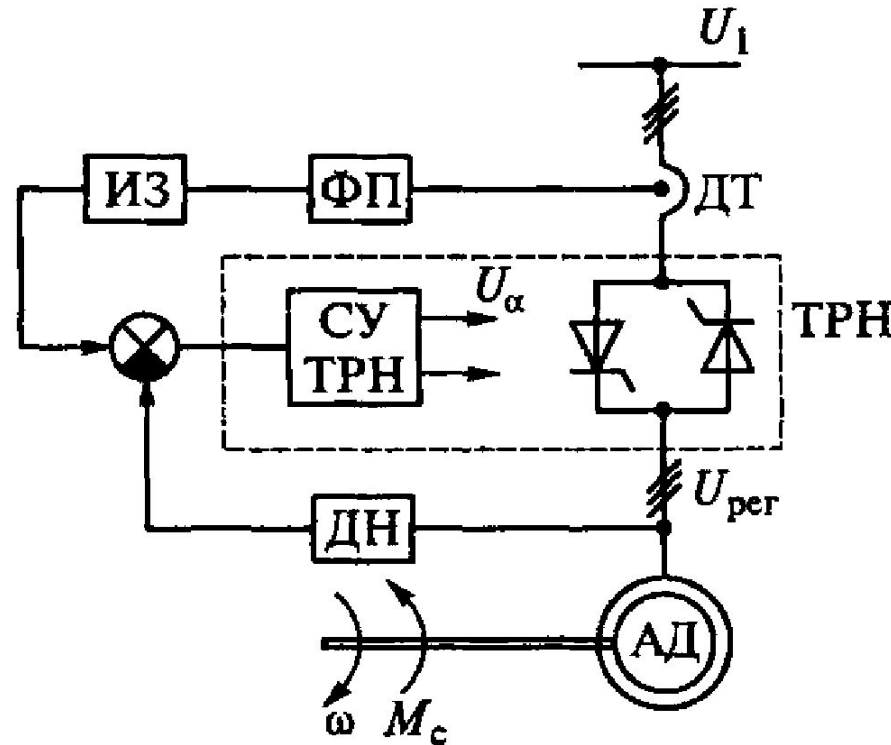
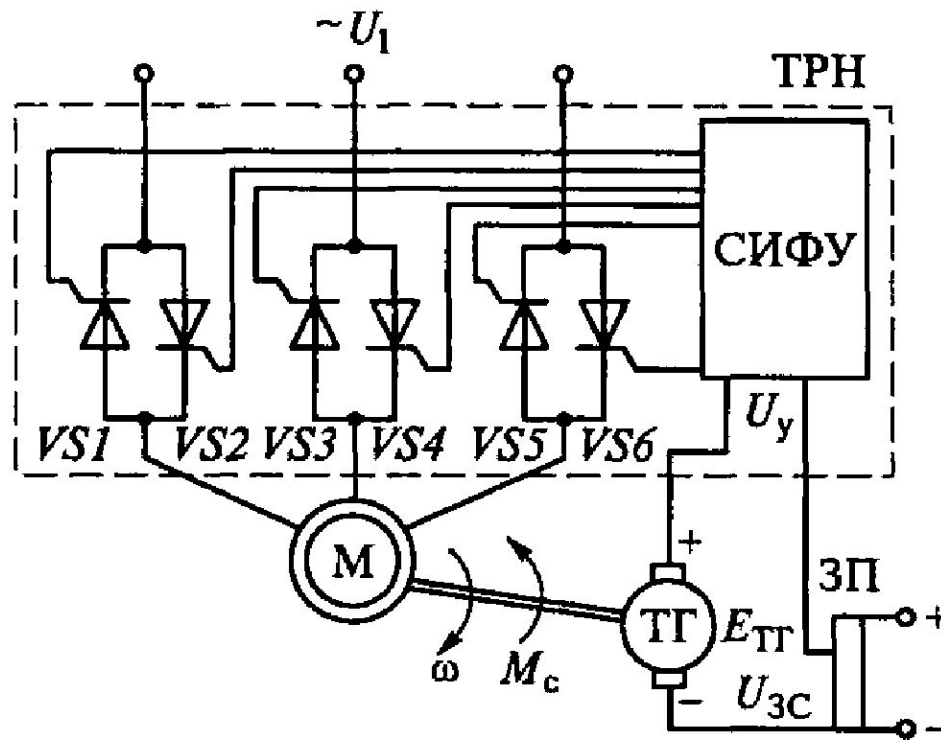


Схема с экстремальным регулятором, позволяющая минимизировать потребляемый двигателем ток при различных нагрузках двигателя



$ФП$ – функциональный преобразователь, выбор его характеристики обеспечивает минимум потребления тока при различных нагрузках, $ИЗ$ – инерционное звено, совместно с отрицательной обратной связью по напряжению устраняет возможные автоколебания в системе.

Схема замкнутой системы ТРН – АД с отрицательной обратной связью по скорости, обеспечивающая требуемый уровень оптимального скольжения



ТГ – тахогенератор,

ЗП – потенциометр задания требуемой скорости (скольжения) двигателя.

Энергосберегающие электродвигатели

В асинхронный двигатель закладывается на 25-30 % больше активных материалов:

- стали (увеличенная длина сердечника, уменьшается магнитная индукция и потери в стали);
- меди, алюминия (увеличивается сечение проводников, уменьшаются потери в меди).

В результате на 30 % снижаются потери, КПД возрастает – на 5 % в небольших двигателях (единицы кВт) и на 1 % в двигателях 70-100 кВт.

Цена двигателя увеличивается на 40-60 %, срок окупаемости – около 2 лет.

Недостатки: экономия достигается лишь при мало меняющейся и близкой к номинальной нагрузке.

Особенно эффективно применять для механизмов, работающих в длительном режиме.

Классы энергоэффективности АД (национальный стандарт ГОСТ Р 54413-2011): IE1 – нормальный, IE2 – повышенный, IE3 – премиум, IE4 – супер-премиум.

Начиная с 1 января 2017 года европейские производители будут производить двигатели класса энергоэффективности не ниже IE3.

Стандарт распространяется на односкоростные трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором в диапазоне мощностей 0,75 – 355 кВт с питанием от сети переменного тока частотой 50 и 60 Гц напряжением до 1000 В, имеющие 2, 4 или 6 полюсов, рассчитанные на продолжительный S1 или повторно-кратковременный S3 режим работы с продолжительностью включения ПВ = 80 % и выше, допускающие прямое включение.

Стандарт не распространяется на двигатели, специально предназначенные для работы с преобразователями частоты, а также двигатели, конструктивно объединенные с механизмами (насосы, вентиляторы, компрессоры).

Рекомендации по сбережению электроэнергии в нерегулируемом электроприводе:

1. Когда электродвигатель механизма работает с загрузкой 70-100 % от номинальной, то можно использовать энергосберегающие электродвигатели.
2. Когда нагрузка электродвигателя постоянна и значительно меньше номинальной (менее 70 %), то следует рассмотреть вопрос его замены на двигатель меньшей мощности.
3. Когда нагрузка электродвигателя изменяется циклично, случайным образом и значительное время составляет меньше 50 % от номинальной, то следует применить регулятор напряжения или переключение обмоток статора с треугольника в звезду.

2.2 Электросбережение в регулируемом электроприводе

Основная доля потерь связана с технологическим процессом.

Радикальный способ энергосбережения в электроприводе – переход от нерегулируемого электропривода к регулируемому, т.е. подача к рабочему органу технологической установки требующейся в каждый момент времени мощности при минимальных потерях во всех элементах силового канала.

Основное техническое решение регулируемого электропривода в массовом применении сегодня: система «электронный преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором»

Для регулирования частоты вращения **асинхронного электродвигателя** применяются следующие методы:

- изменение частоты питающего напряжения (используется преобразователь частоты) – **основной метод**;
- изменение числа пар полюсов обмотки статора (путем переключения обмоток);
- изменение сопротивления в цепи ротора (в двигателе с фазным ротором подключается в цепь ротора трехфазный регулировочный реостат);
- изменение напряжения статора (через автотрансформатор);
- включение электромагнитной муфты.

Для регулирования частоты вращения **двигателя постоянного тока** применяются следующие методы:

- изменение напряжения якоря;
- изменение магнитного потока;
- изменение сопротивления цепи якоря.

Для регулирования частоты вращения **синхронного двигателя** применяется в основном изменение частоты питающего статор напряжения.

Частотно-регулируемый асинхронный электропривод включает преобразователь частоты (ПЧ) и асинхронный двигатель (АД).

Применяются ПЧ трех типов:

- *непосредственные ПЧ: в каждой фазе содержится два реверсивных преобразователя тока;*
- *автономные инверторы напряжения АИН: включает нерегулируемый выпрямитель, конденсатор фильтра, инвертор (шесть управляемых ключей на IGBT транзисторах, шунтированных диодом; формирование синусоидального напряжения на выходе инвертора осуществляется методом **широотно-импульсной модуляции**);*

- автономные инверторы тока АИТ: управляемый выпрямитель на тиристорах, реактор и инвертор на шести тиристорах, появляется возможность рекуперации энергии.

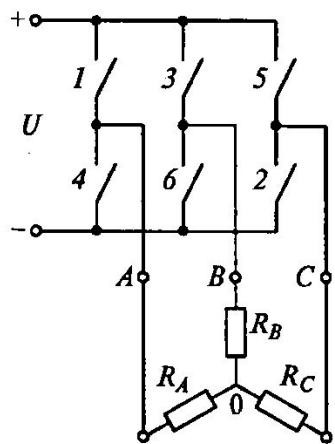
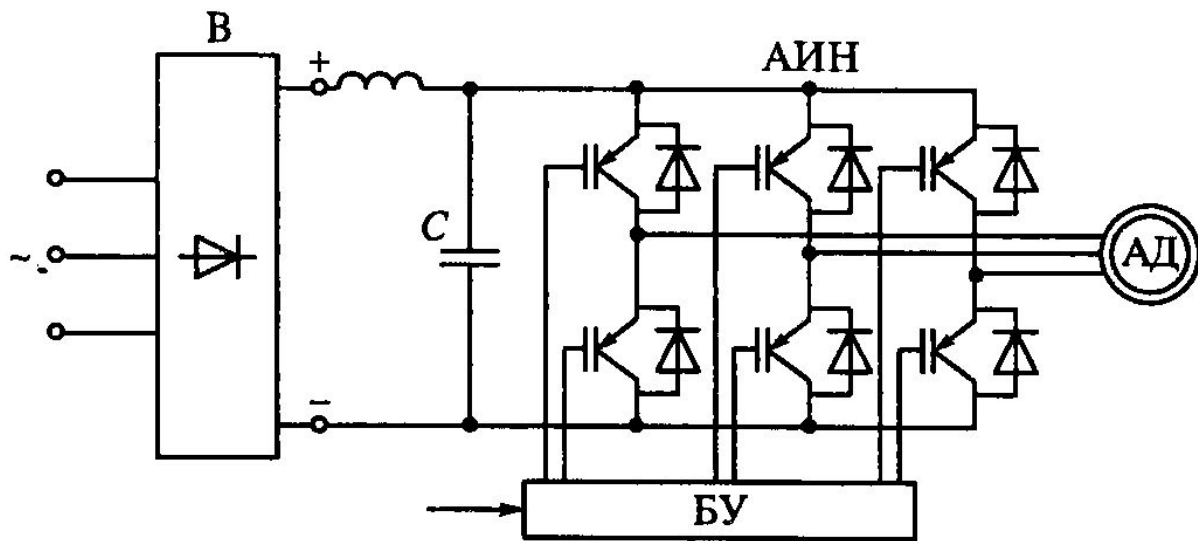
Достоинства ЧРЭП с АИН:

- практически синусоидальный ток АД;
- широкий диапазон плавного регулирования частоты выходного напряжения от нуля до килогерц;
- высокий коэффициент мощности;
- возможность работы от одного ПЧ нескольких параллельно включенных АД;
- максимальное выходное напряжение равно линейному напряжению сети.

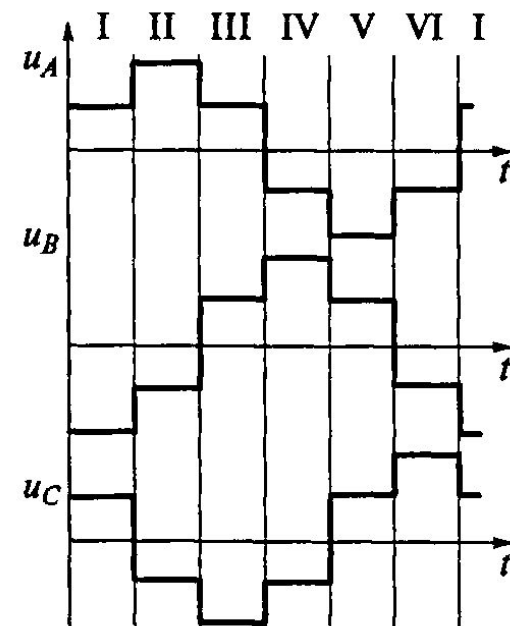
Недостатки ЧРЭП с АИН:

- при рекуперативном торможении необходимо применение обратного управляемого моста, включаемого параллельно выпрямителю.

Наибольшее применение в промышленности получил ЧРЭП с АИН, выполненный на IGBT транзисторах с широтно-импульсной модуляцией напряжения.



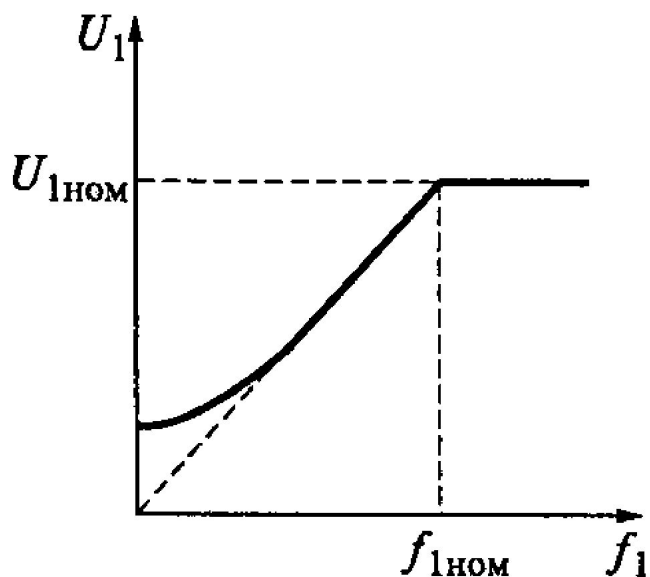
	I	II	III	IV	V	VI	I
1							
2							
3							
4							
5							
6							
	1, 5, 6	1, 2, 6	1, 2, 3	2, 3, 4	3, 4, 5	4, 5, 6	



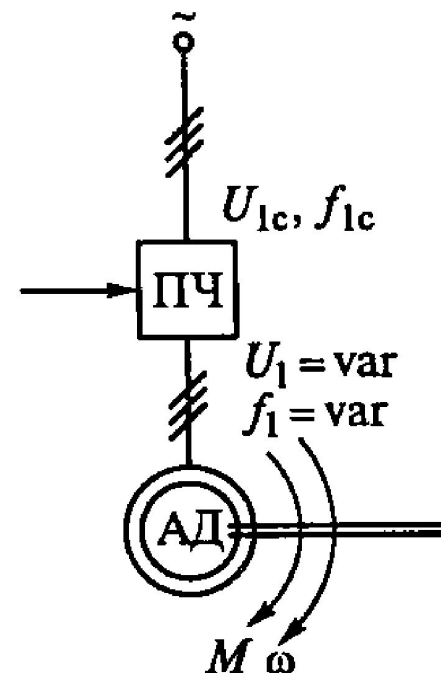
При изменении частоты вниз от номинальной необходимо уменьшать и амплитуду напряжения.

Несоблюдение этого условия недопустимо, так как вызовет рост магнитного потока и в соответствии с кривой намагничивания резкий рост намагничивающего тока.

Изменение частоты вверх от номинальной при номинальном напряжении будет приводить к снижению критического момента.



При низких частотах несколько увеличивают напряжение для компенсации падения напряжения в обмотках статора.



При оценке возможности применения ЧРЭП необходимо учитывать следующее:

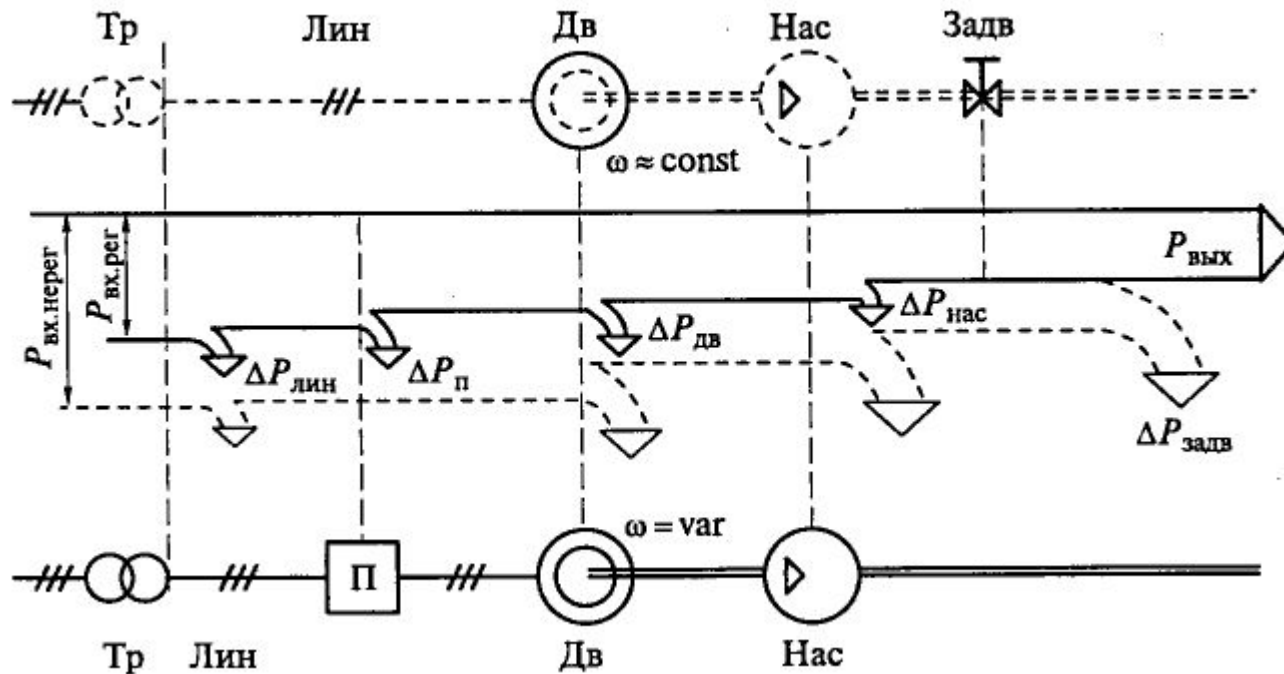
- при работе от ПЧ нагрев АД на 3 – 5 % увеличивается за счет высших гармоник тока;
- при регулировании частоты вращения АД вниз от номинальной ухудшаются условия охлаждения самовентилируемых АД и практически не ухудшаются условия охлаждения у двигателей с независимым охлаждением;
- при регулировании частоты вращения вверх от номинальной (напряжение статора равно номинальному) существуют ограничения по верхнему пределу частоты, в связи с ограниченной прочностью подшипниковых узлов АД, элементов редуктора, уменьшением перегрузочной способности АД.

В ЧРЭП кроме регулирования частоты вращения реализуются следующие функции:

- плавный разгон и торможение АД с ограничением пусковых и тормозных моментов, токов, потерь активной мощности (в особенности если ЭП работает в режиме частых пусков, потери энергии при частотном пуске или торможении зависят от управляемого времени переходного процесса и уменьшаются при его увеличении);
- бесконтактный реверс АД;
- защита АД и ПЧ от перегрузок, перегрева, неполнофазных режимов.

Частотно-регулируемый электропривод позволяет:

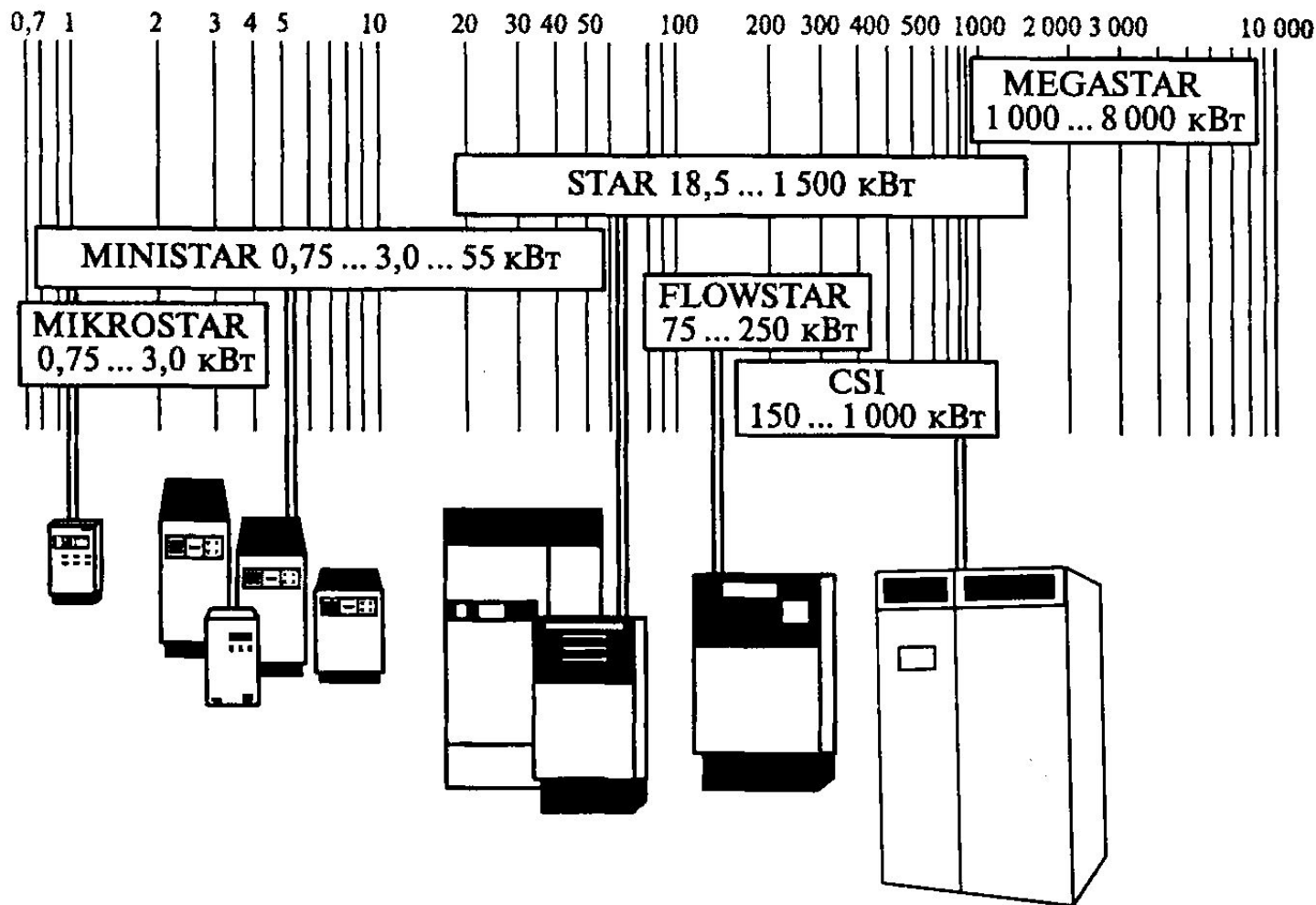
- В насосных установках при одинаковой выходной мощности и открытой задвижке в случае регулируемого электропривода существенно уменьшаются потери в гидравлической части и потребляемая системой мощность, также уменьшается мощность, потребляемая электродвигателем насоса.



Проблемы, возникающие при использовании регулируемого электропривода с электронными преобразователями частоты:

- генерирование электромагнитных помех;*
- искажение напряжения питающей сети;*
- возникновение частичных разрядов и разрушение изоляции обмоток двигателя;*
- паразитные емкости внутри подшипников вызывают протекание высокочастотных токов, что приводит к снижению надежности подшипников;*
- способность электропривода выдерживать кратковременные перерывы питания (до 1 сек).*

На мировом рынке работают сотни производителей ПЧ, например, Mitsubishi, Hitachi (Япония), ABB (Финляндия), Siemens (Германия).



Семейство преобразователей частоты ABB

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Схема преобразователя частоты с двумя трансформаторами

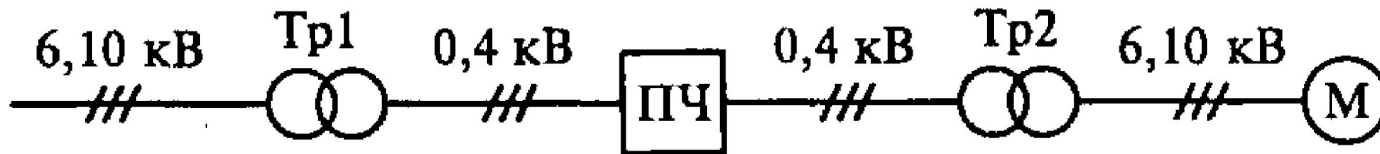
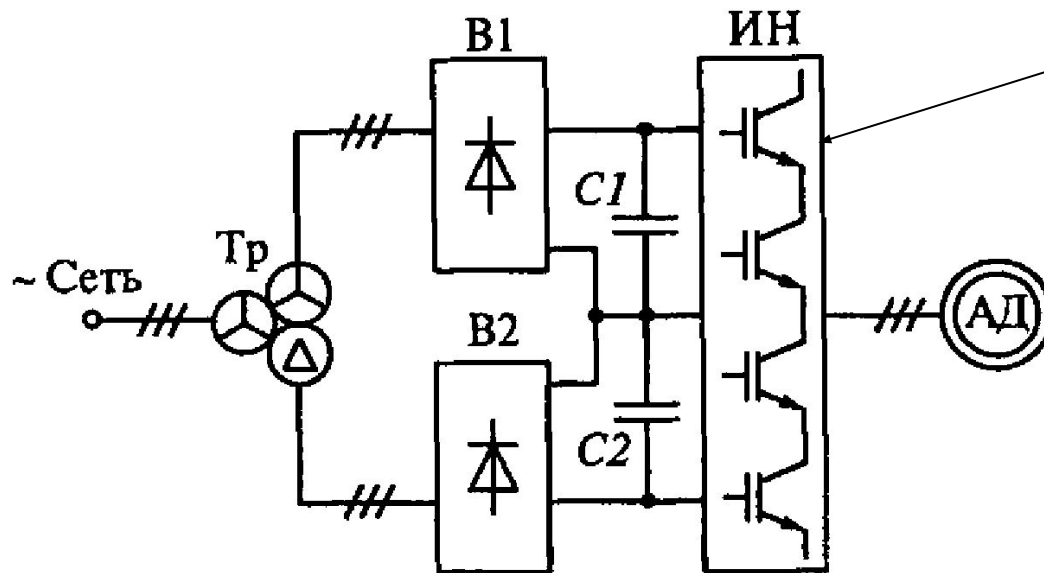


Схема преобразователя частоты с одним трансформатором, имеющим две вторичные обмотки. Позволяет снизить уровень пульсаций напряжения и тока, решить проблему электромагнитной совместимости электропривода и системы электроснабжения.



Последовательное
соединение силовых
транзисторов

Схема преобразователя частоты с одним трансформатором, имеющим девять вторичных обмоток (схема с низковольтными инверторными ячейками)

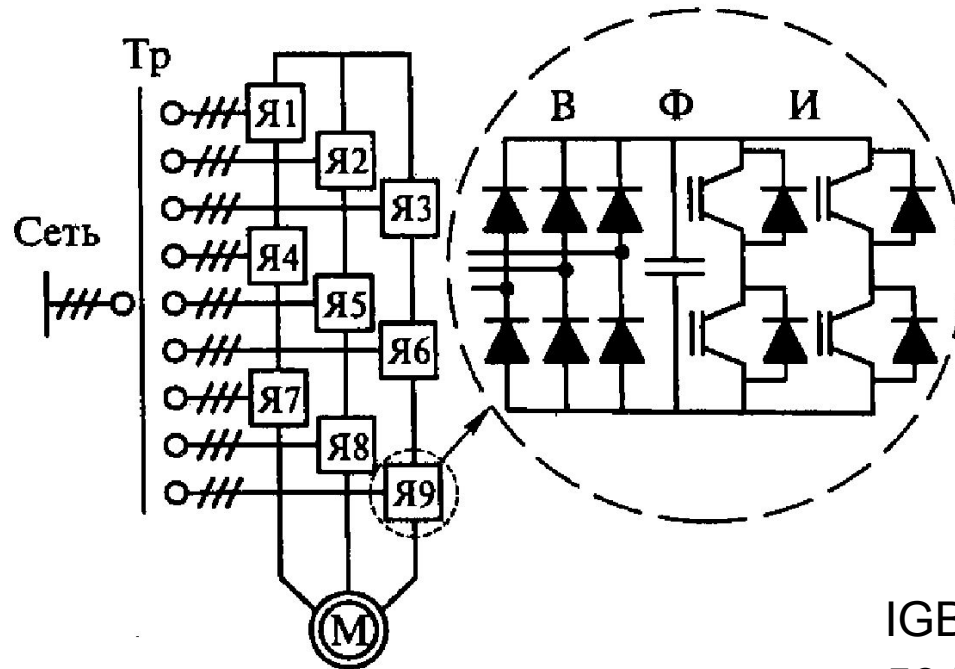
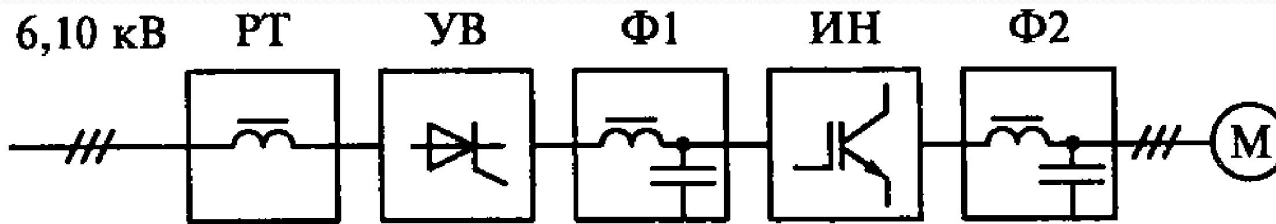


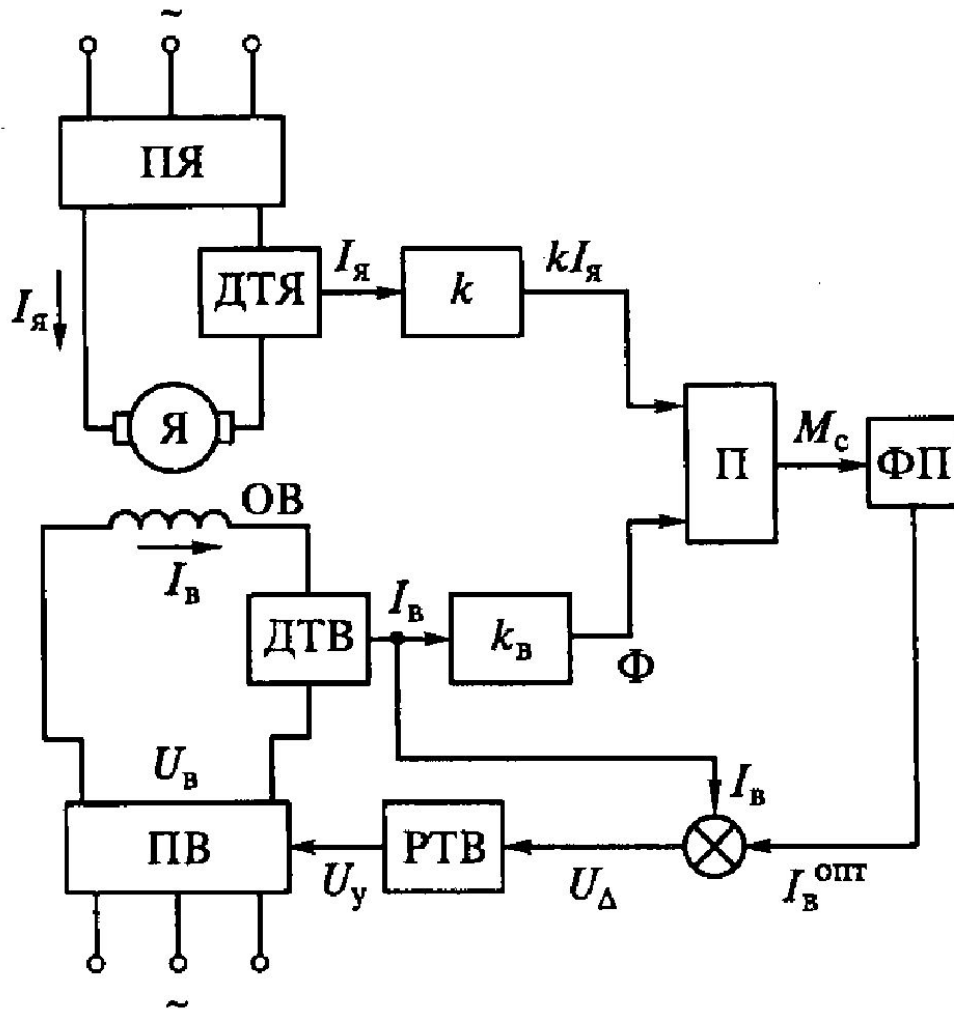
Схема бестрансформаторного преобразователя частоты



IGBT-транзисторы: U до 6,5 кВ, I до 2,5 кА. Для двигателей мощностью до 20 МВт и более.

Электропривод постоянного тока

Схема электропривода при минимизации потерь мощности за счет регулирования тока возбуждения при изменении нагрузки двигателя



$$I_{\text{в}}^{\text{опт}} = \sqrt[4]{\frac{M_{\text{с}}^2 R_{\text{я}}}{R_{\text{в}} k^2 k_{\text{в}}^2}}$$

ПЯ – преобразователь цепи якоря, ПВ – преобразователь цепи возбуждения, ДТЯ и ДТВ – датчики токов якоря и возбуждения, П – блок перемножения, ФП – функциональный преобразователь, РТВ – регулятор тока возбуждения.

3. Методы и технические средства электросбережения в системах вентиляции

По разным оценкам вентиляторы потребляют до 10 % всей электроэнергии, используемой в промышленности.

Для вентилятора характерны следующие соотношения:

- 1) Подача пропорциональна частоте вращения вала двигателя;
- 2) Давление в выходной магистрали пропорционально квадрату частоты;
- 3) Электрическая мощность пропорциональна кубу частоты вращения.

Сокращение расхода электроэнергии в вентиляционных установках достигается:

1. Заменой вентиляторов старых типов с низким КПД новыми, более экономичными.

Вентиляторы старых типов имеют КПД 0,5-0,6, новых типов – 0,8-0,9. Экономия электроэнергии – до 30 %.

2. Применение систем автоматического управления вентиляционными установками (экономия электроэнергии 20-30%)

Экономия электроэнергии за счет:

- Блокировки систем тепловой завесы ворот с приводом открывания и закрывания ворот. При открытии ворот должна автоматически включаться тепловая завеса и при их закрывании завеса отключается;
- Отключение вентиляционных установок или обеспечение их работы с меньшей подачей во время обеденных перерывов, пересмен или в нерабочее время;
- Блокировка индивидуальных вытяжных систем на рабочих местах. При работе механизма вытяжка работает и не работает, если механизм останавливается;
- Минимизация времени, в течении которого двери в помещениях находятся в открытом состоянии.

3. Применение способов регулирования подачи вентиляторов:

- дросселирование - применение регулируемых заслонок в воздуховоде на стороне нагнетания – *наименее экономично*;
- применение поворотных направляющих лопаток;
- управление углом наклона лопастей осевых вентиляторов;
- включение различного количества параллельно работающих вентиляторов;
- применение двухскоростного электродвигателя (например, при работе вентилятора в рабочую смену и обеденный перерыв);
- частотно-регулируемый электропривод (ПЧ – АД) – *наиболее экономично*.

4. Надлежащая эксплуатация вентиляционных установок.

4. Методы и технические средства электросбережения в насосных установках

Для насосного агрегата верны следующие положения:

- 1) Подача насоса пропорциональна частоте вращения вала двигателя;
- 2) Напор насоса пропорционален квадрату частоты вращения;
- 3) Потребляемая двигателем мощность пропорциональна кубу частоты вращения вала двигателя.

Снижение электроэнергии в насосных установках может быть достигнуто:

1. Заменой насосов с низким КПД насосами с более высоким КПД.

Эксплуатирующиеся в настоящее время насосы - КПД 0,4-0,8; современные насосы имеют КПД 0,75-0,88.

2. Поддержание хорошего технического состояния агрегата при эксплуатации.

3. Устранение нерационального повышения напора насосов.

Увеличение напора ведет к увеличению потребляемой электроэнергии.

4. Устранение или сокращение потерь воды и нерационального ее расхода.

5. Применение способов регулирования подачи насосных установок:

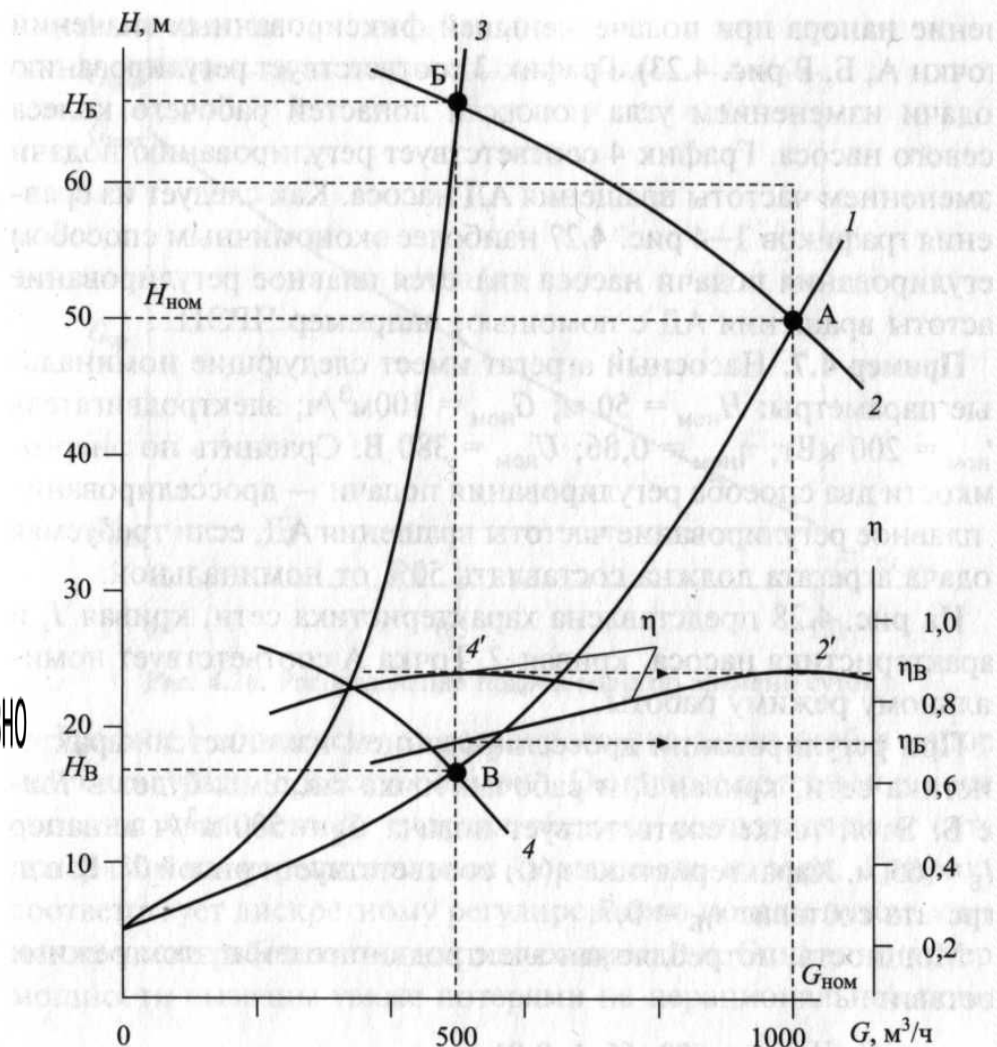
- Изменение величины сечения трубопровода с помощью задвижки (дросселирование);
- Изменение числа параллельно работающих насосных агрегатов;
- Изменение угла поворота лопастей рабочего колеса осевой насосной установки (требуется применение специального насоса);
- Изменение диаметра рабочего колеса насосной установки
- Изменение частоты вращения электродвигателя насосного агрегата – применение **частотно-регулируемого электропривода ПЧ – АД**; наиболее экономичный способ регулирования подачи насоса.

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}x} \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}k} \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\phi}}{S_{\text{Т.НОМ}}} \right)^2$$

При наличии на подстанции двух и более трансформаторов целесообразно строить кривые зависимости потерь мощности трансформаторов от нагрузки:

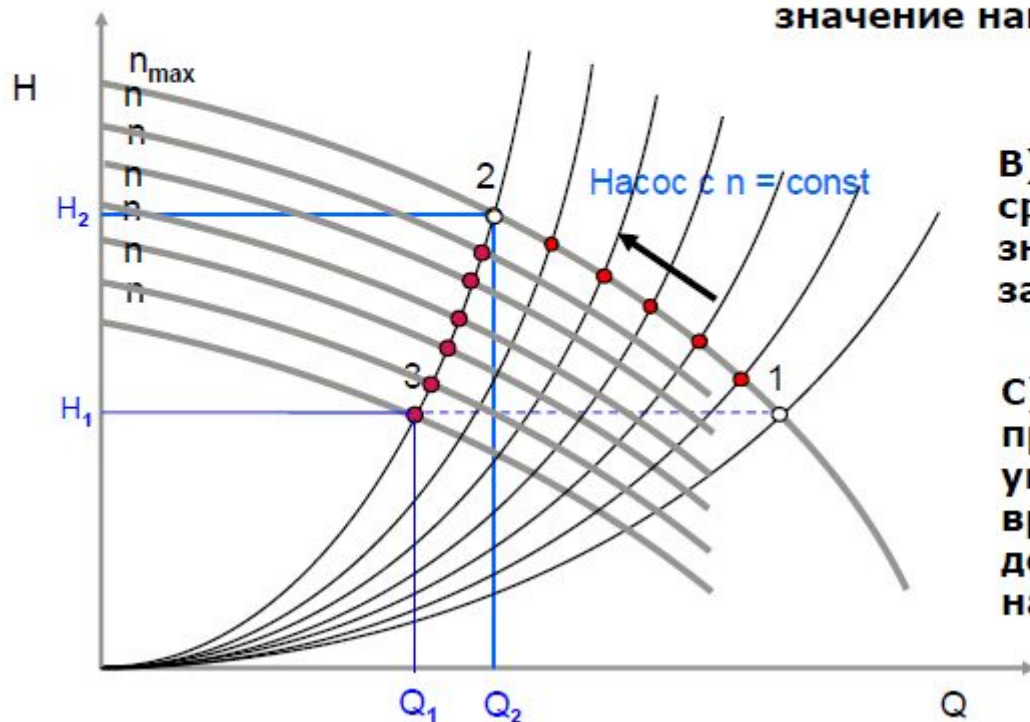
$$\Delta P = n \left(\Delta P_x + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}x} \%}{100} \right) + \frac{1}{n} \left(\Delta P_k + k_{\text{ИП}} \frac{S_{\text{Т.НОМ}k} \%}{100} \right) \left(\frac{S_{\phi}}{S_{\text{Т.НОМ}}} \right)^2$$



Кривая 1 – характеристика сети.
 Кривая 2 – характеристика насоса
 Кривая 3 – характеристика сети при регулировании дросселированием.

Применение частотного преобразователя при наличии глубокого регулирования производительности (подачи) в данной системе (количественное регулирование)

А) Датчик определяет текущее значение напора (точка 2)



В) Электроника сравнивает текущее значение напора с заданным (точка 1)

С) Частотный преобразователь уменьшает частоту вращения, чтобы достичь заданного напора (точка 3)

5. Методы и технические средства электросбережения в системах сжатого воздуха

Снижение электроэнергии в компрессорных установках может быть достигнуто:

- 1. Снижением номинального рабочего давления компрессорной установки.**
- 2. Осуществлением резонансного наддува поршневых воздушных компрессоров.**

При работе цилиндров поршневого компрессора во всасывающем трубопроводе имеются потери давления, снижается производительность компрессора. Для повышения давления применяется явление резонанса (собственная частота колебаний столба воздуха во всасывающем трубопроводе равна или кратна частоте движения поршня цилиндра компрессора). Для получения резонанса подбирают длину всасывающего трубопровода или подключают к нему емкость определенного объема.

Сокращается расход ЭЭ компрессора на 4 – 5 %, производительность повышается на 8 – 10%.

3. Применение подогрева сжатого воздуха перед потребителями.

Повысить температуру можно путем улучшения теплоизоляции воздуховодов, прокладкой воздуховодов в одном канале с паро- и теплопроводами и подогревом сжатого воздуха (используя вторичные энергоносители).

4. Замена компрессоров старых конструкций на новые с более высоким КПД.

При одной и той же производительности поршневые компрессоры имеют меньший удельный расход электроэнергии, чем центробежные.

5. Сокращение утечек сжатого воздуха.

6. Замена пневмоинструмента на электроинструмент.

КПД пневматического ручного инструмента – 0,1-0,15; КПД электроинструмента – 0,6-0,75.

7. Совершенствование технологии эксплуатации системы.

Регулярная замена масла, контроль состояния клапанов и всасывающих фильтров, не допускать излишнего охлаждения сжатого воздуха.

8. Регулирование производительности компрессорной станции.