

Частотные регуляторы для горных работ

Частотное регулирование угловой скорости вращения электропривода с асинхронным двигателем в настоящее время широко применяется, так как позволяет в широком интервале плавно изменять обороты вращения ротора как выше, так и ниже номинальных значения.

Частотные регуляторы для горных работ

- В настоящее время широкое применение нашли современные **две основные системы регулирования – электромашинные вращающиеся и статические частотные преобразователи.**
- В электромашинных преобразователях переменная частота получается за счет использования обычных или специальных электрических машин. В статических частотных преобразователях изменение частоты питающего тока достигается за счет применения не имеющих движения электрических элементов.
- Сами частотные регуляторы подразделяются на высоковольтные и низковольтные.

Частотные регуляторы для горных работ

- Статические преобразователи частоты бывают однофазные и трехфазные. Преобразователи частоты для однофазной сети позволяют обеспечить электропривод производственного оборудования мощностью до 7,5 кВт. Особенностью конструкции современных однофазных преобразователей является то, что на входе имеется одна фаза с напряжением 220В, а на выходе - три фазы с тем же значением напряжения, что позволяет подключать к устройству трехфазные электродвигатели без применения конденсаторов и других устройств.

Частотные регуляторы для горных работ

- Преобразователи частоты с питанием от трехфазной сети 380В выпускаются в диапазоне мощностей от 0,75 до 4000 кВт. В зависимости от величины мощности устройства изготавливаются в корпусах различного исполнения.
- Исходя из вида нагрузки на выходе, преобразователи частоты подразделяются по типу исполнения:
 - для насосного и вентиляторного привода;
 - для общепромышленного электропривода;

Частотные регуляторы для горных работ

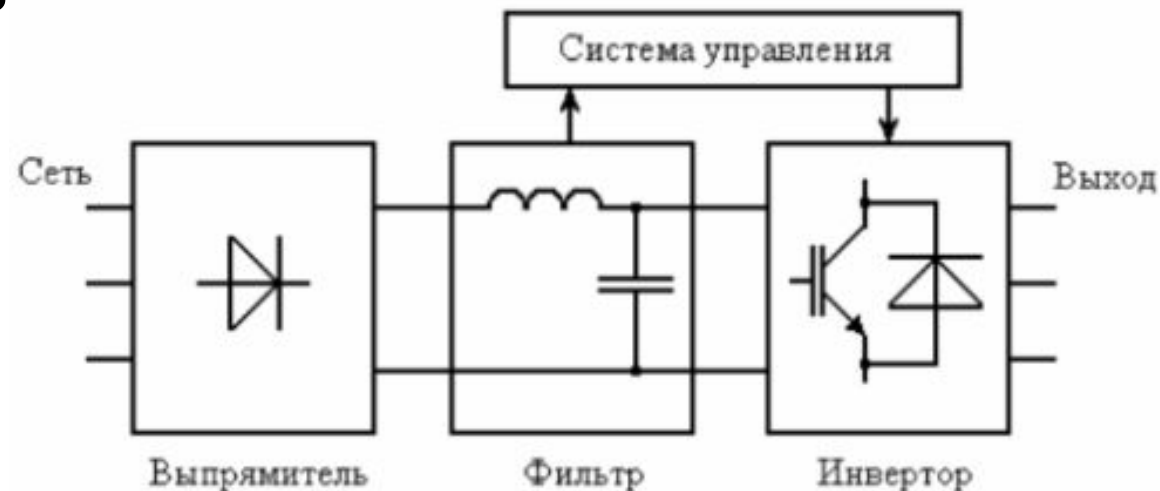
- эксплуатируется в составе электродвигателей, работающих с перегрузкой.

Механические характеристики типичных нагрузок



Частотные регуляторы для горных работ

- Частотный преобразователь состоит из четырёх основных функциональных блоков – выпрямительного устройства (выпрямляет переменный ток в постоянный пульсирующий); **фильтра пульсаций** (сглаживает пульсации постоянного тока); **инвертора** (преобразует постоянный ток в переменный необходимой частоты) и системы управления с обратной связью (регулятора)



Теория автоматического регулирования

- **Регулятор** – устройство автоматического регулирования систем управления изменяющее параметр управления в ответ на возникшее возмущение. Например при бурении бур уперся в твердый камень, обороты перфоратора падают, регулятор определяет замедление и добавляет обороты на двигатель устройства. Такое регулирование называется **регулированием с обратной связью**.
- Сам принцип связи подразделяется на **отрицательную обратную связь**, т.е. само возмущение уже наступило – бур уперся в камень и регулятор, определив последствия возмущения - обороты упали, лишь добавляет оборотов на двигатель; и **прямую связь**,

Теория автоматического регулирования

- т.е. если на перфораторе поставить устройство сканирующее породу перед буром, то подведя бур к камню регулятор заранее повысил бы обороты. Регуляторы с прямой связью дороги и используются в системах искусственного интеллекта.
- Все регуляторы работают **по законам регулирования** – математической зависимости которая описывает процесс регулирования от воздействия - обратная связь (бур уперся в камень) (от прогноза будущего воздействия – прямая связь (бур может упереться в камень)) до изменения параметров объекта регулирования (скорость вращения бура стала выше).

Теория автоматического регулирования

- Регуляторы в зависимости от реализованных в них математических законов делятся:
- **П-регуляторы (пропорциональный)** – регулятор добавляет обороты на двигатель перфоратора постепенно (например по 5 об/мин) и когда добавил в сумме 50 об/мин перфоратор начал бурить (то есть на регулирование ушло 10 циклов);
- **ПИ-регуляторы (пропорционально-интегральный)** – регулятор добавляет сначала 5 об/мин, потом 10 об/мин, потом 15 об/мин, потом 20 об/мин – в сумме получив 50 об/мин перфоратор начинает бурить (4 цикла регулирования):

Теория автоматического регулирования

- **ПД-регулятор** (пропорционально-дифференциальный) - регулятор добавляет сначала 5 об/мин, потом 100 об/мин, потом, когда скорость бурения резко возросла, делит функцию приращения скорости пополам, скорость возросла на те же 50 об/мин (3 цикла регулирования);
- **ПИД-регулятор** (пропорционально-интегрально-дифференциальный) – регулятор сразу добавляет 55 об/мин, потом снижает обороты на 5 об/мин (2 цикла регулирования);
- **ПИД-регулятор с переменной структурой** – требует дополнительных устройств контроля обратной связи. Например на перфоратор устанавливается устройство, контролирующее не только скорость вращения бура но и напор (прижатие) бура к породе. Этот регулятор позволяет производить регулирование

Теория автоматического регулирования

- зависимостью частоты от напора, в один цикл.
- В частотном преобразователе могут использоваться все виды регуляторов, потому для управления частотой вращения электродвигателя на преобразователь обязательно необходимо подводить систему обратной связи от технологического процесса. Хотя сам частотный преобразователь и имеет ручное управление частотой вращения ЭД, но из-за его высокой стоимости применение ручного регулирования для ЭД средних и больших мощностей – не рационально.
- На рисунках не слайде ниже представлены упрощенная схема подключения и механические характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании угловой скорости.

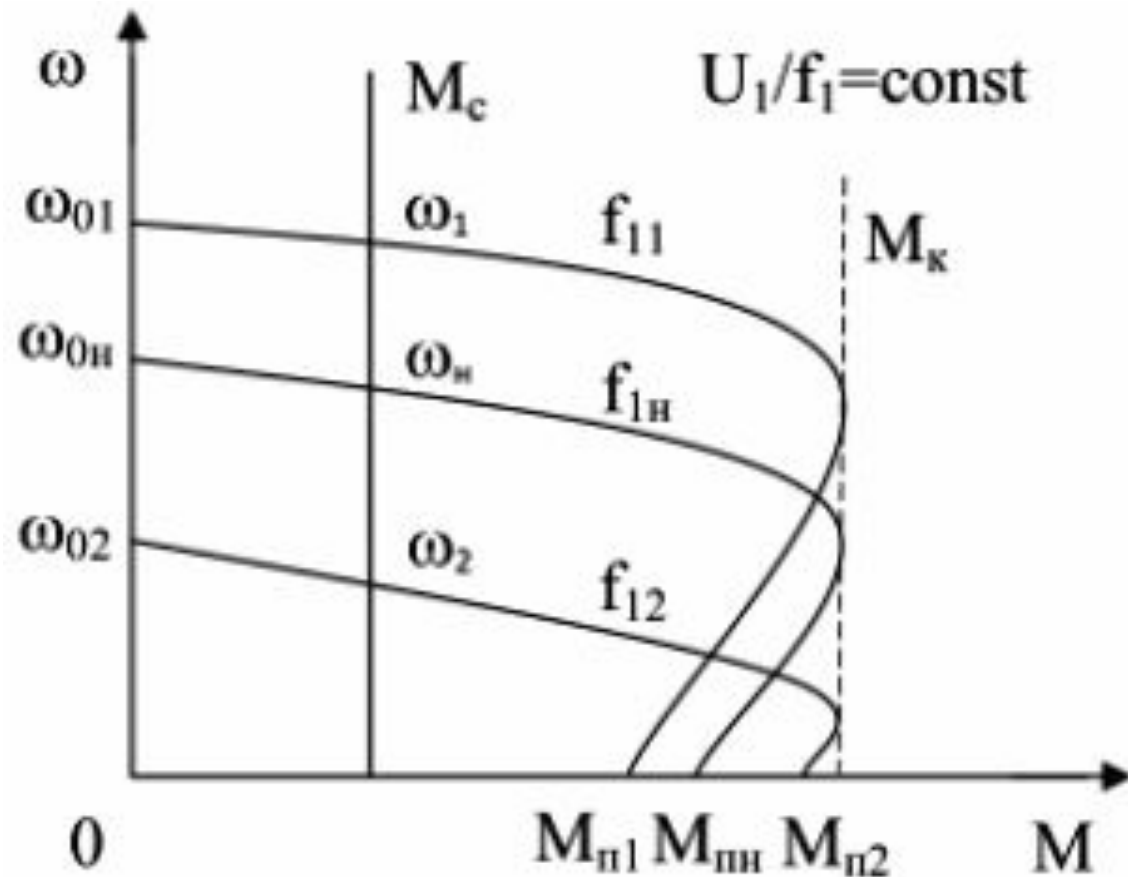
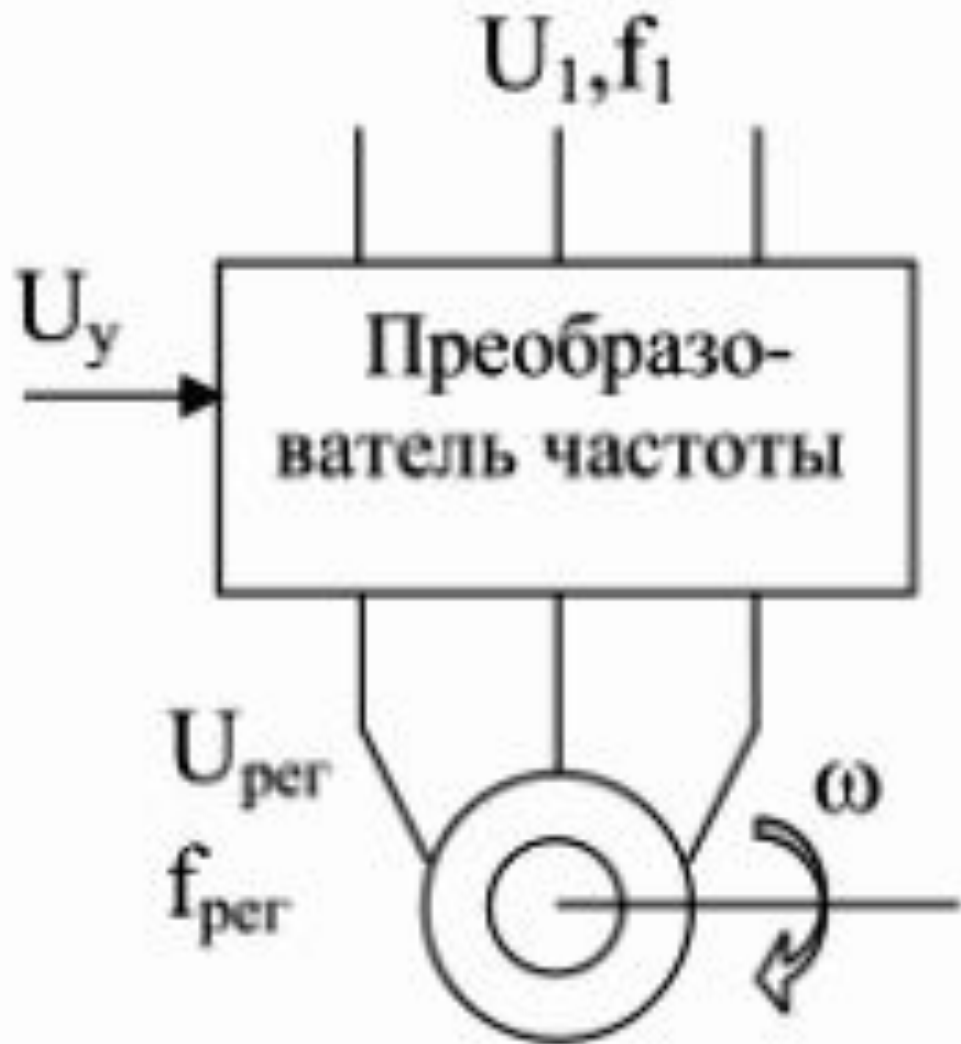


Схема подключения частотного преобразователя к асинхронному электродвигателю
 Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном управлении

Частотные регуляторы для горных работ

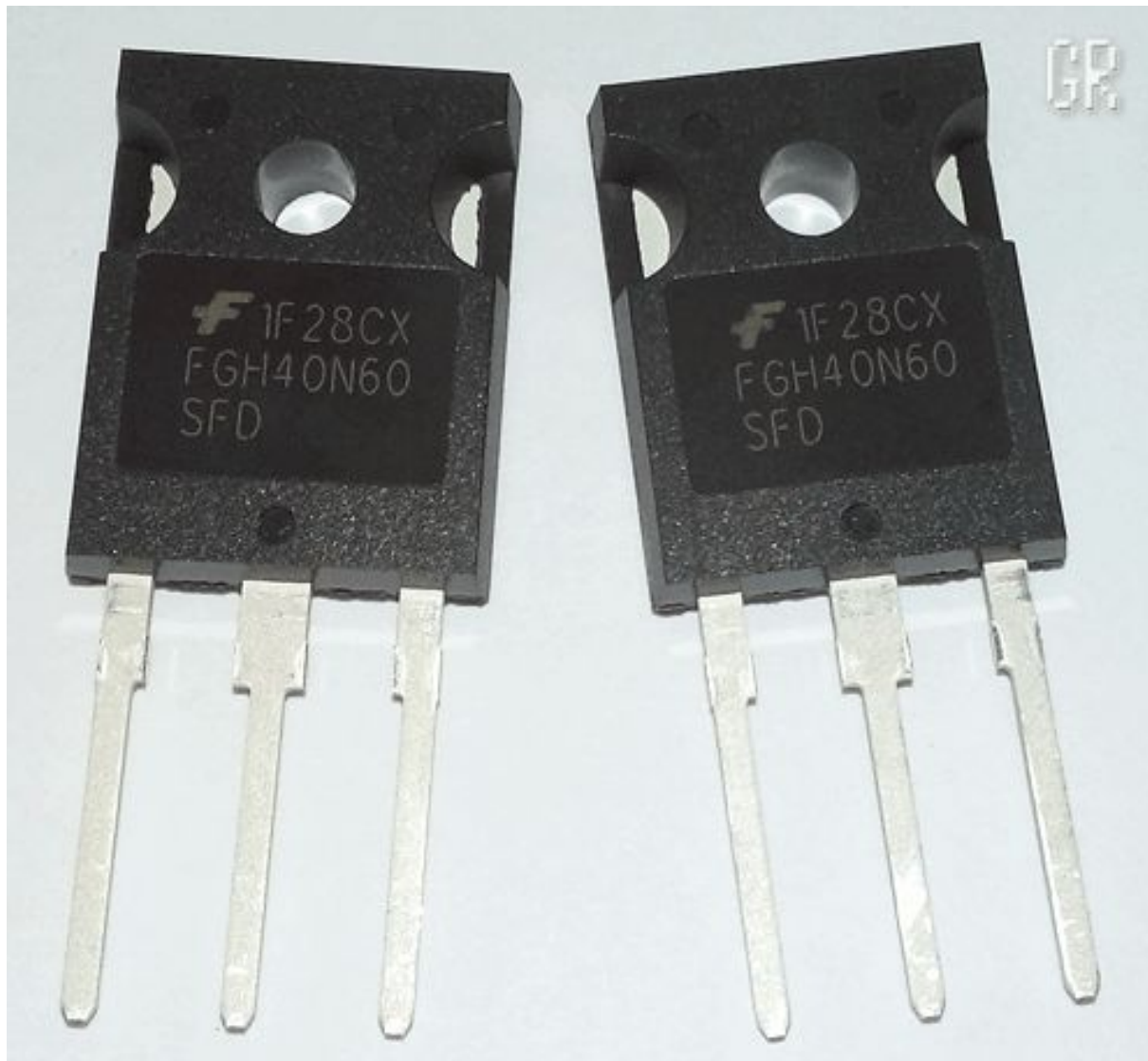
- Частотное регулирование скорости асинхронного двигателя позволяет изменять угловую скорость вращения в диапазоне - 20...30 к 1. Регулирование скорости асинхронного двигателя вниз от основной осуществляется практически до нуля. При изменении частоты питающей сети верхний предел частоты вращения асинхронного двигателя зависит от ее механических свойств, тем более что на частотах выше номинальной асинхронные двигатель работает с лучшими энергетическими показателями, чем на пониженных частотах. Поэтому, если в системе привода используется редуктор, это управление двигателем по частоте следует производить не только вниз, но и вверх от номинальной

Частотные регуляторы для горных работ

- точки, вплоть до максимальной частоты вращения, допустимой по условиям механической прочности ротора.
- Существует очень много видов частотных преобразователей, разных по назначению, схемам управления, принципам действия и функционалу. Но основной принцип их работы можно описать так:
 - - выпрямление переменного тока промышленной частоты;
 - - сглаживание пульсаций выпрямления;
 - - формирование точной синусоиды переменного тока с частотами выше или ниже промышленной.

Частотные регуляторы для горных работ

- Для выпрямления переменного тока применяются 12-, 24- и более пульсные схемы выпрямления с помощью **тиристорных модулей**. Фильтрация осуществляется с помощью резисторно-конденсаторно - дроссельных модулей (R-C-L- цепи), формирова-ние новых синусоид – с помощью **IGBT – транзисторных модулей** (силовых транзисторов).
- **Преимущества частотных преобразователей:**
- плавное регулирование скорости вращения ЭД позволяет в большинстве случаев отказаться от использования редукторов;
- плавный пуск ЭД;



IGBT транзистор

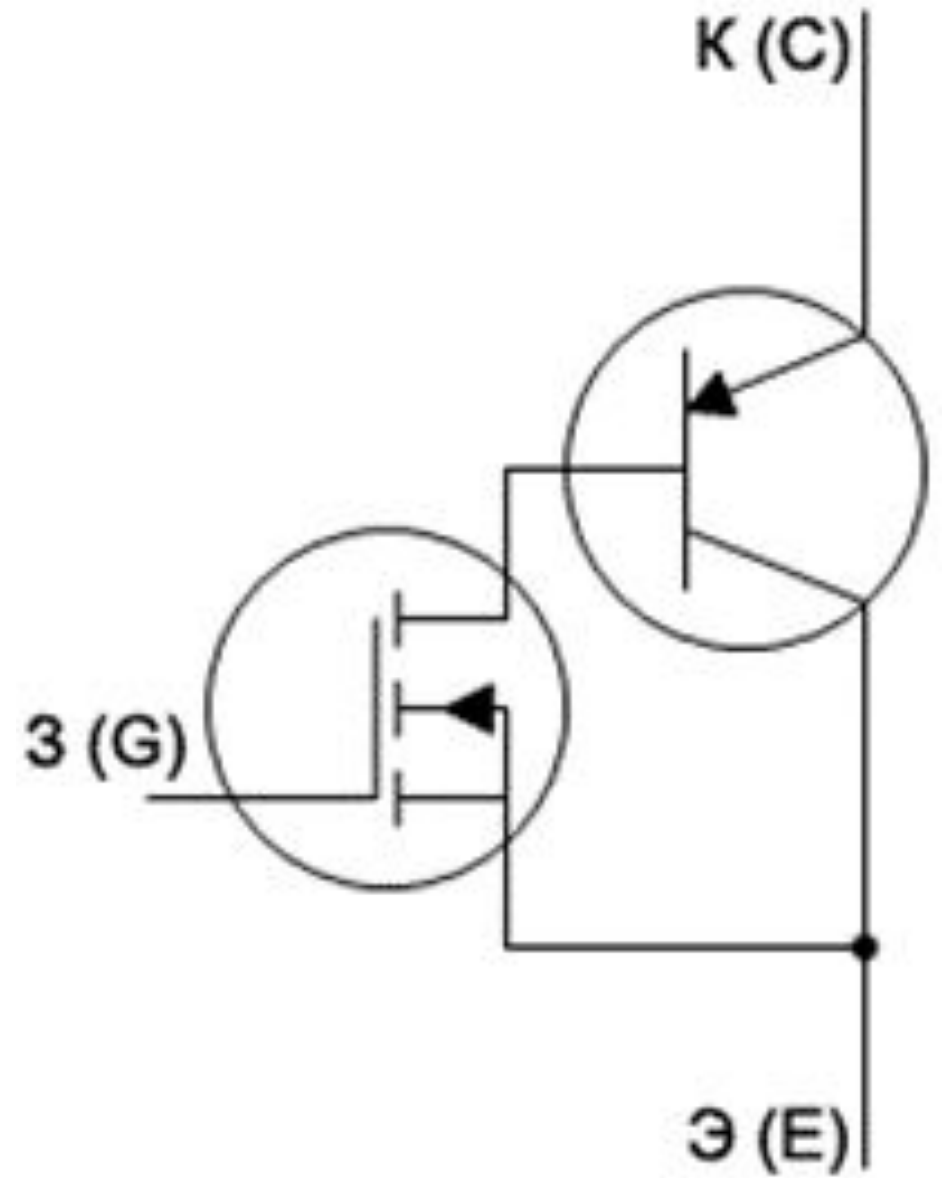


Схема IGBT-транзистора

Частотные регуляторы для горных работ

- встроенный ПИД-регулятор позволяет реализовать системы регулирования скорости управляемых двигателей и связанных с ним технологических процессов;
- преобразователи частоты в комплекте с АДК и АДФ может применяться для замены приводов постоянного тока;
- снижение потребления электроэнергии.
- **Недостатки частотных преобразователей (ПЧ):**
- высокая цена качественного оборудования; цена высоковольтного ПЧ в несколько раз выше, чем низковольтного ПЧ аналогичной мощности;

Частотные регуляторы для горных работ

- появление в сети гармоник – несинусоидальных (нелинейных) частот выше 50 Гц и, как следствие отрицательное воздействие на другую преобразовательную технику (микропроцессоры, электронные схемы) других устройств, подключенных к сети;
- необходимость применения ЭД с усиленной изоляцией и особыми конструкциями подшипников валов ротора (микровибрации самого ротора, вызванные гармониками передаются на подшипники и начинают разбивать их, поэтому требуется установка или усиленных подшипников (повышенной механической прочности), либо специальных амортизирующих устройств гасящих микровибрации (изолированные подшипники). Изоляция обмоток самого ЭД подвергается постоянному

Частотные регуляторы для горных работ

- испытанию гармониками, которые, так же имеют эффект повышенного напряжения);
- удорожание самого ЭД (как следствие предыдущего пункта);
- снижение свойств изоляции обмоток НН и срока службы питающего ПЧ трансформатора до 3-х раз из-за нелинейных эффектов гармоник.
- как следствие, необходимость применения более дорогих и габаритных трансформаторов для нелинейных нагрузок при мощности ПЧ более 40% от мощности трансформатора (от 40-60% -желательно применение подобных трансформаторов, более 60% - обязательна);

Частотные регуляторы для горных работ

- небольшой срок службы самих ПЧ (5-8 лет);
- дороговизна запасных частей ПЧ.
- Частотные регуляторы прочно вошли в состав систем управления ЭД и автоматизированных систем управления самим технологическим процессом в промышленности и на горном производстве:
 - - насосы – регулирование производительности по падению напора (увеличение расхода) в насосных станциях или по увеличению водопритока – в водоотливных установках;

Частотные регуляторы для горных работ

- - компрессорные установки – регулирование производительности по расходу сжатого воздуха;
- - конвейера – регулирование скорости конвейера, в зависимости от нагрузки;
- - мельницы – регулирование скорости, в зависимости от нагрузки;
- - буровые установки – регулирование скорости и напора, в зависимости от крепости породы;
- - вентиляторы – регулирование скорости (количества подаваемого воздуха) от потребности или регулирования при наличии опасных газов;
- - экскаваторы – регулирование напора, в зависимости от сопротивлению копания и т.д.

Частотные регуляторы для горных работ

- В мировой практике есть стремление ухода от высоковольтных ПЧ из-за их дороговизны, высоких дополнительных требований безопасности и , наиболее веской причины – засорение питающих высоковольтных сетей гармониками. Если сторонних потребителей низковольтной сети не так много, то в высоковольтных сетях это число резко увеличивается и, соответственно, риски повреждения стороннего оборудования - тоже. Поэтому есть примеры установки приводов на 380В с ПЧ на мощности до 4000 кВт.
- Основной проблемой всех ПЧ является отвод тепла от полупроводниковых силовых элементов (вспомним АТП), поэтому для их охлаждения применяются радиаторы, вентиляторы и



**Низковольтные
ПЧ**

Высоковольтный ПЧ



Частотные регуляторы для горных работ

- другие устройства (вплоть до водяного охлаждения).
- Стоит отметить, что для горной промышленности специальных ПЧ не изготавливается – это общепромышленные ПЧ установленные в соответствующую оболочку (корпус) и адаптированные к применению в подземных условиях или на карьерах.
- Применение ПЧ для подъемных машин (ПМ) (особенно людского подъёма) на горных предприятиях ограничено. Так как привод таких машин, в основном, двухдвигательный, то синхронизация частот вращения ЭД вызвала сбои в работе самих ПЧ. Так же приводы ПМ в основном высоковольтные и, по вышеперечисленным причинам, сами горные предприятия отдают предпочтение приводам с двигателями постоянного тока или АД с **асинхронно-вентильным каскадом** управления.

Частотные регуляторы для горных работ

- ПЧ, в основном применяются для приводов главных вентиляторно-калориферных установок (регулирование объёма подаваемого воздуха в зависимости от количества людей, самоходной техники с двигателями внутреннего сгорания, наличия вредных газов и др.); главных водоотливных установок (регулирование водопритока); насосных станций (регулирование напора) и другого технологического оборудования.
- Все ПЧ имеют электронный блок управления со встроенной защитой ЭД от токов к.з., перегруза, обрыва фазы, нулевую и минимальную защиты с регулируемыми уставками и, зачастую, наличие функции реверса ЭД.

Частотные регуляторы для горных работ

- ПЧ в исполнении РВ.
- Представлены сериям ПЧВ (преобразователь частотный взрывобезопасный) и СУРВ-ПЧ (станция управления взрывобезопасная с частотным преобразователем).
- ПЧВ состоит из преобразовательного отсека, отсека с коммутационной аппаратурой, коробки вводов, блока настройки и индикации. В преобразовательном отсеке расположены блоки выпрямителя, инвертора напряжения и токоограничивающий фильтр. С передней стороны отсека имеется монтажная крышка на навесах, обеспечивающая доступ ко всем элементам преобразователя. В отсеке с коммутационной аппаратурой



**Серия
ПЧВ**



**Серия ПЧВ с
реверсировани
ем**



**Станция
управления
СУРВ-ПЧ**

Частотные регуляторы для горных работ

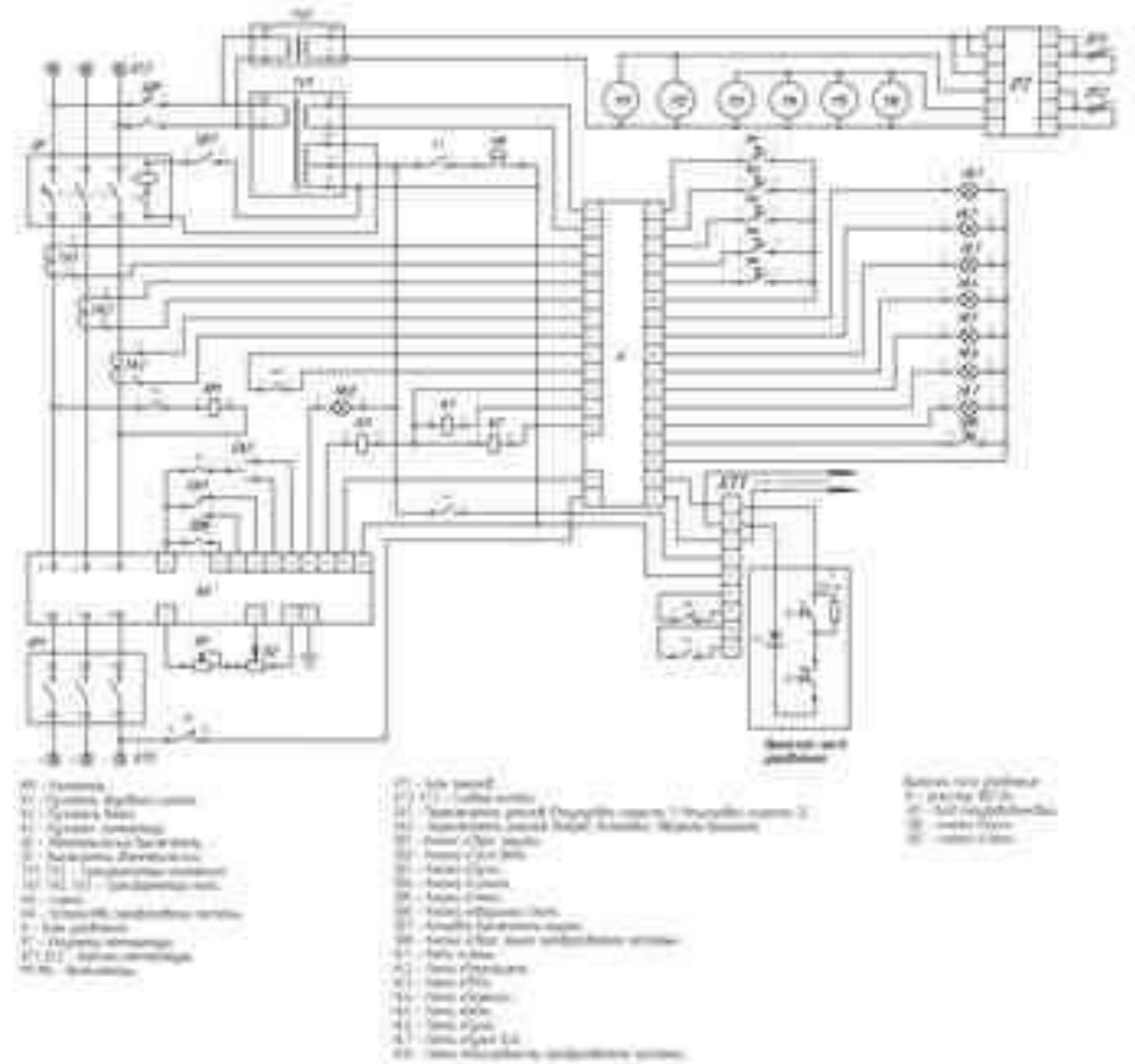
- расположены блокировочный разъединитель с быстродействующими предохранителями, контактор, блоки питания, управления и защит.
- Имеет следующие функции: плавный запуск и регулирование частоты вращения приводного двигателя; автоматическое поддержание заданной производительности технологического оборудования путем регулирования скорости с целью экономии электроэнергии.
- ПЧВ имеет следующие защиты:
 - защиту от перегрузки ЭД;
 - нулевую защиту;
 - МТЗ отходящих силовых цепей;

Частотные регуляторы для горных работ

- защиту от перегрева двигателей;
- защиту от перегрева силовых полупроводниковых приборов;
- предупредительный контроль изоляции отходящих силовых цепей;
- защиту от замыканий в цепях дистанционного управления;
- защиту от утечек в комбинированной сети, осуществляемую совместно с устройством, установленным в питающей трансформаторной подстанции;
- электрическую блокировку, обеспечивающую невозможность отключения разъединителя под токовой нагрузкой;
- защиту от пробуксовки, осуществляемую совместно с датчиком скорости ленты;

Частотные регуляторы для горных работ

- механическую блокировку, обеспечивающую невозможность доступа в отсек с коммутационной аппаратурой при включенном разъединителе.
- **ПЧ в исполнении РН.**
- Представлен серией ПРЧ-РН на токи от 10А-630А. Состоит из преобразовательного отсека, отсека с коммутационной аппаратурой, коробки вводов, блока управления, контроля и индикации. В преобразовательном отсеке расположен сам ПЧ различных производителей; в корпусе с дверцами и крышками отсеков. Корпус имеет салазки или подставку. В отсеке с коммутационной аппаратурой размещены автоматический выключатель, контактор, блоки питания, управления и защит. Так же может иметься выносной пульт ДУ.



Внешний вид и схема ПРЧ

Частотные регуляторы для горных работ

- ПРЧ имеет следующие защиты и функции управления:
- Защита от токов к.з. и перегрузки;
- нулевая защита;
- защита от самовключения пускателя при $U_c > 1,5 U_n$;
- защита от включения пускателя при снижении сопротивления изоляции отходящего присоединения менее 30 кОм (БКИ);
- защита от потери управляемости при обрыве или замыкании проводов дистанционного управления;

Частотные регуляторы для горных работ

- защита от обрыва или увеличения сопротивления заземляющей жилы свыше 100 Ом;
- защита от блокировки ротора;
- защита от перегрева блока преобразователя частоты.
- местное и дистанционное управление по 4-х проводной схеме;
- плавное регулирование скорости электродвигателя от нуля до номинальной
- величины дистанционно вручную или автоматически по заданной программе;
- взаимная электрическая блокировка последовательности включения двух пускателей.

Частотные регуляторы для горных работ

- Самостоятельно изучить виды воздушных линий электропередачи (ЛЭП).
- Письменно ответить на вопрос:
- Конструкции СИП (самонесущего изолированного провода).
- Кратко - системы противообледенения воздушных ЛЭП.