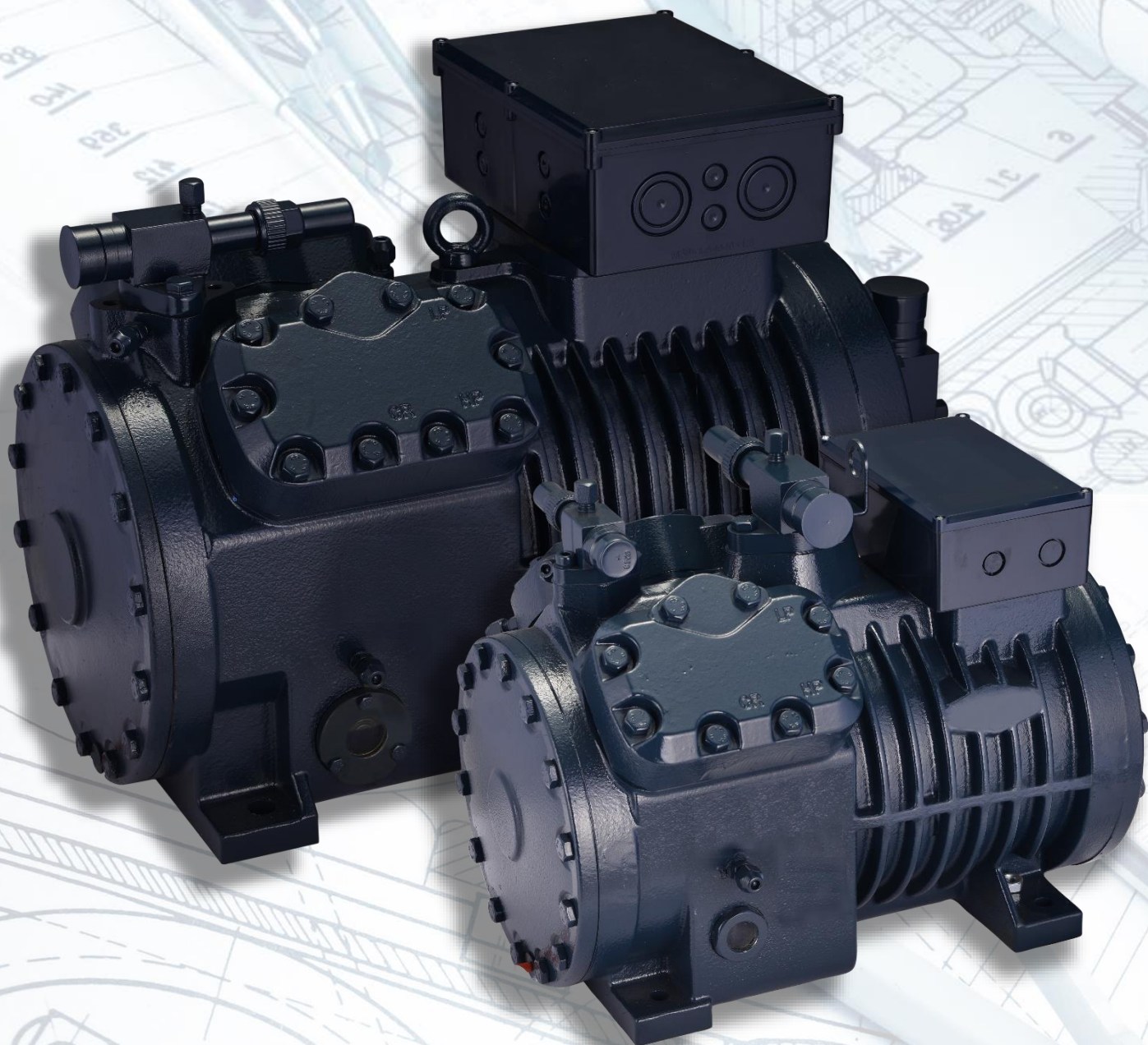


КОМПРЕССОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ
ДЛЯ КОМПРЕССОРОВ БРЕЙЗЕР**

Преобразователь частоты позволяет бесступенчато регулировать холодопроизводительность в соответствии с потребностью холодильной системы посредством регулирования скорости.

Рекомендации по работе, области применения, подбору компрессоров и частотных преобразователей.

Все поршневые компрессоры Брейзер подходят для работы с частотами ниже частоты электросети и, с некоторыми ограничениями, для работы с частотами выше частоты электросети. Таким образом, компрессоры Брейзер могут работать в достаточно широком диапазоне производительности.

Особенности работы с преобразователем частоты:

- более высокая эффективность системы, особенно при частичной нагрузке
- возможен более точный контроль температуры
- точное поддержание температуры кипения, температуры хладоносителя
- более высокая эффективная температура кипения, следовательно, меньшее осушение неупакованных пищевых продуктов и сырья в холодильных камерах, а также меньшее обледенение на испарителе
- меньше пусков компрессора

меньшая нагрузка на двигатель и электросеть благодаря встроенному плавному пуску: пусковой ток ниже, чем при прямом пуске, плавном пуске, пуске звезда-треугольник или пуске с разделенными обмотками

- более высокая холодопроизводительность часто возможна при работе на частотах выше частоты сети (позволяет использовать компрессор с меньшей объемной производительностью при частоте сети 50 или 60 Гц, т.е., возможно, сокращение затрат на кВт холодопроизводительности)
- При работе с преобразователем частоты средняя температура кипения может быть повышена, напр. от -7 до -4.5°C . Повышение температуры кипения на 1 К повышает эффективность системы до 3%.

Холодопроизводительность как функция нагрузки показана на следующем графике. Преобразователь частоты имеет преимущество, особенно при частичной нагрузке.

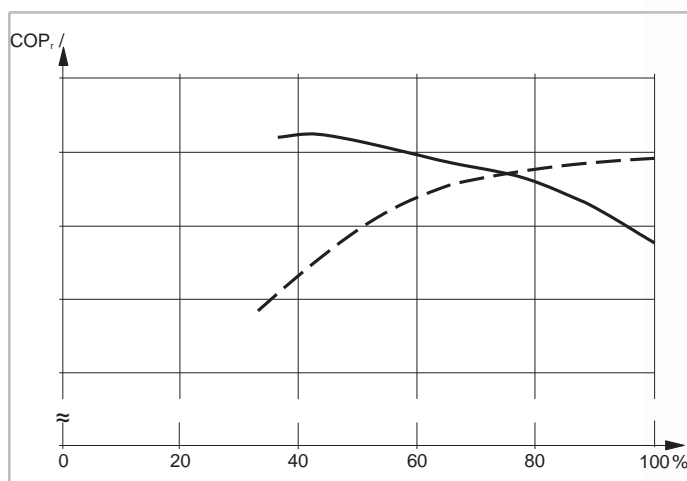


Рис. 1: Сравнение характеристик эффективности регулирования производительности поршневого компрессора с отключением части цилиндров (с CR регулированием) и преобразователем частоты (FI): коэффициент производительности COP_r/EER (отношение холодопроизводительности к потребляемой мощности) в зависимости от нагрузки.

Пунктирная линия: CR регулирование.

Сплошная линия: FI регулирование производительности. Условия эксплуатации: R404A, $t_o: -10^{\circ}\text{C} / t_c: 45^{\circ}\text{C} / \Delta t_{OH}: 20\text{ K}$

Оптимальная производительность при CR регулировании всегда составляет 100 %, при этом с FI эффективная работа достигается в диапазоне частичной производительности и может регулироваться конструкцией компрессора и диапазоном регулирования. Из-за противоречивых целей высокого COP_r/EER при полной нагрузке и высокой эффективности при частичной нагрузке необходим компромисс.

1 РАБОТА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ

1.1 Холодопроизводительность и эффективность системы

Механическое регулирование производительности

Холодопроизводительность поршневого компрессора может быть механически адаптирована к запрашиваемой от системы производительности, напр. посредством:

- блокирования порта всасывания
- блокирования потока газа со стороны всасывания к отдельным блокам цилиндров
- в многокомпрессорных системах также включением и выключением отдельных компрессоров

Компрессор работает с постоянной скоростью, скорость двигателя компрессора напрямую зависит от частоты сети.

Это приводит к следующей номинальной скорости для 4-полюсных асинхронных моторов:

- 1450 min при 50 Гц и
- 1750 min при 60 Гц.

1.2 Регулирование производительности с преобразователем частоты

Средний момент на валу компрессора в основном зависит от условий эксплуатации и свойств хладагента. Таким образом, момент на валу компрессора остается примерно постоянным в широком диапазоне скорости / частоты. Холодопроизводительность и потребляемая мощность изменяются примерно пропорционально скорости (см. график ниже), холодопроизводительность может плавно адаптироваться посредством регулирования скорости. Допустимые скорости / частоты для компрессоров Брейзер приведены ниже (*Диапазон применения*).

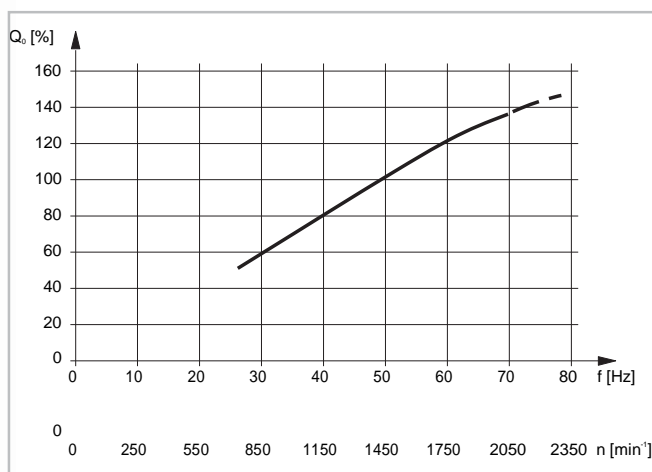


Рис. 2: Типовой график холодопроизводительности Q_0 в зависимости от частоты питания и частоты вращения поршневых компрессоров

ВНИМАНИЕ

Не комбинируйте преобразователь частоты с механическим регулированием производительности компрессора! Особенно при низкой скорости адекватное охлаждение мотора не гарантируется, поскольку массовый расход хладагента сильно снижается.

Возможно повреждение компрессора и двигателя!

При использовании частотного преобразователя потребление электроэнергии при полной нагрузке несколько выше, чем при работе компрессора напрямую от сети. Это связано с потерями в преобразователе частоты, вызванными потерями в отдельных электронных компонентах для

преобразования энергии и охлаждения преобразователя частоты. Другой причиной нагрева мотора и снижения эффективности мотора являются гармоники: чем выше качество преобразователя частоты и чем лучше он сконфигурирован, тем ниже коэффициент гармонических искажений в выходном сигнале. В работу частотного преобразователя вовлечено несколько переменных, влияющих на работу и запуск компрессора:

- Кривая напряжения ограничивает и регулирует эл. питание двигателя
- Частота коммутации преобразователя частоты (несущая частота, частота модуляции) влияет на производительность и надежность двигателя
- последовательность пуска и коэффициент усиления напряжения контролируют пуск компрессора.

Однако в целом потери, вызванные преобразователем частоты, обычно компенсируются повышением эффективности системы за счет работы в более эффективном цикле за счет согласования производительности компрессора с требуемой нагрузкой системы. Таким образом, применение преобразователя частоты обычно повышает общую эффективность системы в «реальных» условиях. Для того чтобы мотор всегда работал в своих номинальных рабочих условиях, в преобразователе частоты должен быть выбран режим регулирования с постоянным отношением напряжения к частоте (U/f).

1.3 Диапазон применения

Для безопасной работы компрессора с преобразователем частоты необходимо строго соблюдать следующие ограничения:

- минимальная и максимальная частота
- максимальная температура двигателя
- максимальная температура нагнетаемого газа и/или перепад давления ($p_c - p_o$)
- максимальное и минимальное давление нагнетания
- максимальный рабочий ток компрессора
- максимальная температура кипения
- минимальный перепад давления ($p_c - p_o$)
- минимальное давление всасывания (должно быть немного выше атмосферного давления)
- достаточное дополнительное охлаждение

Эти ограничения определяют применение компрессора и могут варьироваться в зависимости от диапазона частот и условий эксплуатации.

1.4 Диапазоны скоростей и частот

Полугерметичные компрессоры со стандартными двигателями 3Ф, 380В, 50Гц

Все поршневые полугерметичные компрессоры Брейзер со стандартными двигателями могут без дополнительных условий работать в диапазоне 35Гц ... 50Гц.

При определенных условиях диапазон может быть расширен до 25Гц ... 50Гц.

2 ПОДБОР КОМПРЕССОРА

2.1 Стандартные двигатели

Для обычных применений в компрессорах Брейзер используются стандартные двигатели. Напряжение питания 380 В при 50 Гц.

Условием для нормальной работы двигателя компрессора с переменной частотой является постоянное отношение напряжения на двигателе к частоте (U/f). Для стандартных двигателей 3Ф/380В/50Гц это отношение будет 7,6.

Преобразователь частоты не может подавать на двигатель напряжение выше напряжения питающей сети. Следовательно, при работе с частотным преобразователем на частоте выше частоты питающей сети,

отношение U/f снижается. При этом уменьшается ток намагничивания в главной индуктивности, ослабляется вращающееся поле статора и вращающий момент и снижается максимальный момент двигателя. Поскольку крутящий момент, требуемый для компрессора, должен оставаться постоянным, потребление тока мотором будет увеличиваться (см. рисунок 3). Следовательно, двигатель должен иметь достаточный резерв (ток / мощность) при частоте электросети. Частота / скорость могут быть увеличены до максимального тока двигателя (см. максимальный рабочий ток на заводской табличке или в каталоге).

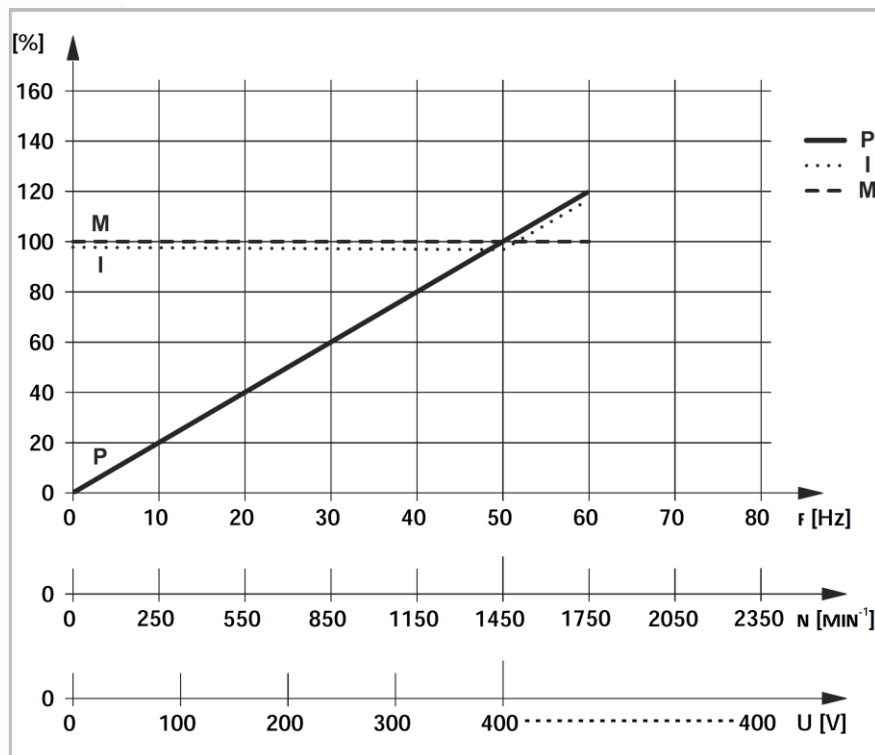


Рис. 3: Рабочие характеристики двигателя компрессора для работы с преобразователем частоты (380 В/3/50 Гц) с резервом.

P: макс. потребляемая мощность компрессора

M: макс. крутящий момент мотора на валу компрессора

I: макс. потребление тока компрессором

f: частота (на выходе преобразователя частоты)

U: напряжение (на выходе преобразователя частоты)

2.2 Работа на частоте выше частоты питающей сети.

Потребляемая мощность компрессора растет пропорционально частоте на выходе частотного преобразователя. Если частота на выходе преобразователя выше частоты питающей сети, напряжение на выходе преобразователя при этом не растет (отношение напряжения к частоте U/f падает), то начинает расти ток потребления компрессора. Ток растет примерно пропорционально увеличению частоты на выходе частотного преобразователя.

Если частота будет 60 Гц – потребляемая мощность компрессора увеличится на 20% относительно потребляемой мощности на частоте 50 Гц, если частота 70 Гц, потребляемая мощность увеличится на 40%. Приблизительно так же увеличится ток компрессора.

При работе компрессора на частоте выше частоты питающей сети рабочий ток двигателя компрессора во всех возможных режимах работы должен быть ниже, чем максимальный рабочий ток (МОС).

Чтобы проверить возможность работы компрессора на определенной частоте, нужно определить крайний режим, в котором будет работать компрессор, максимальная температура кипения и максимальное давление конденсации. Рабочий ток компрессора в этом режиме нужно умножить на отношение частоты на выходе частотного преобразователя к частоте питающей сети. Полученное значение должно быть меньше максимального рабочего тока компрессора.

Например:

Компрессор БР4С-5.2-18, режим работы – t кипения -8, t конденсации +45.

Потребляемая мощность в этом режиме 4,33 кВт.

Рабочий ток 8,23 А.

Максимальная частота на выходе частотного преобразователя 63 Гц.

Ток компрессора на этой частоте $8,23 * 63/50 = 10,4$ А

Максимальный рабочий ток компрессора 10,8 А.

Компрессор может работать на частоте 63 Гц.

При подборе компрессора нужно учитывать, что компрессор может долгое время работать в переходных режимах, когда температура в охлаждаемом объеме или температура хладоносителя намного выше требуемой. Соответственно температура кипения будет выше, чем расчетная.

При подборе нужно ориентироваться не на расчетный режим работы компрессора, а на максимальный для данной системы.

2.3 Работа на частоте ниже частоты питающей сети.

Компрессоры Брейзер со стандартными двигателями могут работать на частоте от 35 Гц без дополнительных устройств.

Для работы в диапазоне 25 – 35 Гц нужно обратить особое внимание на возврат масла в компрессор и работу масляной системы компрессора. При работе на низких частотах холодильная система должна быть оснащена системой отделения и возврата масла. Компрессоры должны быть оборудованы контролем уровня масла в картере. Компрессоры с масляным насосом должны быть оснащены защитой по перепаду давления масла.

При работе компрессора на частотах ниже 35 Гц длительное время, больше одного часа, частоту компрессора нужно увеличить до номинальной (50Гц), и компрессор должен поработать на номинальной частоте 1 – 2 мин., для улучшения возврата масла.

В любом случае при пуске компрессора, компрессор после старта должен поработать на номинальной частоте не менее 1 минуты, прежде чем начнется регулирование.

2.4 Двигатели специального напряжения

Если использовать компрессоры с двигателями специального напряжения – 3Ф / 220В / 50Гц, постоянное отношение напряжения к частоте U/f может поддерживаться выше частоты электросети. Возможный диапазон 25 ... 85Гц.

Постоянный крутящий момент доступен во всем диапазоне применения.

В этом случае рабочий ток двигателя компрессора будет в 1.73 раза выше. Это увеличивает капитальные затраты на преобразователь частоты, соответственно преобразователь частоты должен быть выбран соответствующим образом. Рабочий ток компрессора в любом случае не должен превышать максимальный рабочий ток.

Для работы компрессоров с двигателями специального назначения в диапазоне 25 – 35 Гц нужно выполнить те же условия что и для компрессоров со стандартными двигателями.

В случае выхода из строя частотного преобразователя, стандартный двигатель обеспечивает непосредственную работу компрессора от сети, через контакторы.

При использовании двигателя специального напряжения, при выходе из строя частотного преобразователя, непосредственно к сети двигатель подключить нельзя.

3. ВИБРАЦИИ, РЕЗОНАНС

Вибрации компрессора и пульсации давления, как правило, очень малы ввиду конструкции. Однако они могут вызывать резонансные колебания в трубопроводах и теплообменниках, что приводит к шуму от системы, вибрации и, возможно, к усталости трубопроводов и утечкам. Возможными источниками вибраций являются:

- пульсации давления в линии нагнетания газа.
- вибрации крутящего момента, воздействующие на опоры компрессора или на фланцы трубных соединений.

Частота этих колебаний связана с рабочей частотой компрессора, которая может изменяться в широком диапазоне. По сравнению с односкоростными системами (без преобразователя частоты) эта проблема усугубляется в системах с регулируемой скоростью: Даже если трубопровод подходит для данной скорости компрессора, это может быть не так при других скоростях, устанавливаемых преобразователем частоты. По этой причине вибрации трубопроводов необходимо проверять во всем диапазоне скоростей компрессора, как во время проектирования конструкции системы, так и при вводе в эксплуатацию каждой отдельной системы.

4 ПОДБОР ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

- **Обеспечьте резерв не менее 10% для рабочего тока.**

Преобразователь частоты должен иметь возможность непрерывно подавать рабочий ток на компрессор при любых ожидаемых условиях эксплуатации. Номинальный выходной ток частотного преобразователя должен быть минимум на 10% больше, чем рабочий ток компрессора при любых ожидаемых режимах эксплуатации, чтобы иметь возможность компенсировать пониженное напряжение в сети.

Преобразователь частоты должен иметь возможность кратковременного форсирования тока 150-200 % на время пуска 0,5-1 секунды, для пуска в тяжелых условиях (при работе в составе централи с несколькими компрессорами).

- **Учитывайте перегрузочную способность при запуске компрессора.**

Кроме того, необходимо учитывать коэффициент компенсации частотного преобразователя для тока на время запуска компрессора. Поскольку крутящий момент поршневых компрессоров непостоянен с углом поворота (чем больше число цилиндров, тем более постоянный крутящий момент), при меньшем числе цилиндров требуется больший пусковой момент.

Коэффициенты компенсации, следующие:

- 2-цилиндровые компрессоры: $F = 2.0$
- 4-цилиндровые компрессоры: $F = 1.6$
- 6-цилиндровые компрессоры: $F = 1.5$
- 8-цилиндровые компрессоры: $F = 1.4$

Этот коэффициент умножается на "Макс. рабочий ток" (МОС), соответствующего двигателя компрессора. Этот максимальный ток должен находиться в пределах кратковременной перегрузочной способности преобразователя частоты, в противном случае потребуются более мощный преобразователь частоты.

5 УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ

Для работы поршневых компрессоров с преобразователем частоты подходит стандартное устройство защиты компрессора Брейзер. Так же можно использовать модуль комплексной защиты компрессора SCADI.

Компрессоры с масляным насосом должны быть оборудованы защитой по перепаду давления масла (механическим дифференциальным реле давления, или электронным реле давления масла типа DeltaP. При работе компрессора на частотах ниже 35 Гц длительное время, больше одного часа, частоту компрессора нужно увеличить до номинальной (50Гц), и компрессор должен поработать на номинальной частоте 1 – 2 мин., для улучшения возврата масла.

6 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОНТАЖ КОМПРЕССОРА И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

6.1 Эл. Подключение

Строго соблюдайте рекомендации и требования производителя преобразователя частоты по монтажу!

Обратите особое внимание на следующее:

- Силовой кабель между преобразователем частоты и двигателем компрессора должен иметь соответствующий EMC-экран, который соединяется как с монтажной пластиной электрического шкафа, так и с корпусом двигателя с большой площадью контакта экрана без каких-либо соединений типа "косичка".
- В зависимости от местных условий (жилые, коммерческие, промышленные и т. д.) могут потребоваться дополнительные EMC фильтры.
- Двигатель следует заземлить с помощью защитного провода этого кабеля.
- Кроме того, корпус компрессора должен отдельно заземляться кабелем подходящего сечения.
- В отношении силового кабеля необходимо соблюдать рекомендации производителя преобразователя частоты (например, относительно максимальной длины, отступов от других кабелей).

6.2 Клеммы мотора в клеммной коробке

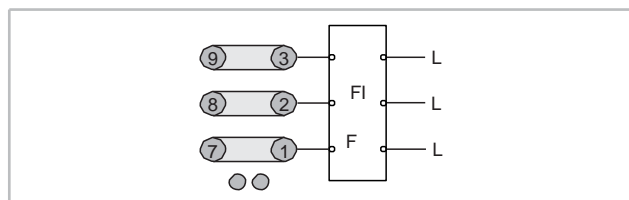


Рис. 4: Подключение двигателя для работы с внешним преобразователем частоты для поршневых компрессоров БР4Н-6.2-35 ... БР4С-50.2-151

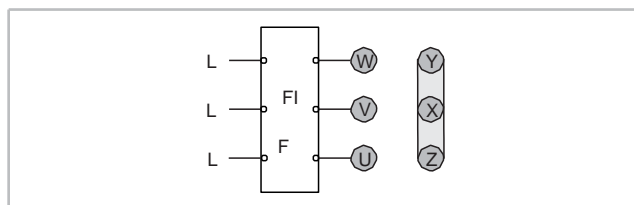


Рис. 5: Подключение двигателя для работы с внешним преобразователем частоты для поршневых компрессоров БР4Н-3.2-18 ... БР4С-9.2-32

6.3 Импульсы напряжения на клеммах мотора

Импульсное выходное напряжение преобразователя частоты нарастает с крутым фронтом. Допустимый диапазон показан на рисунке ниже.

ВНИМАНИЕ

Опасность повреждения мотора при слишком резком повышении напряжения на клеммах мотора! Соблюдайте пределы повышения напряжения и импульсов напряжения на клеммах мотора! При необходимости используйте синусные фильтры.

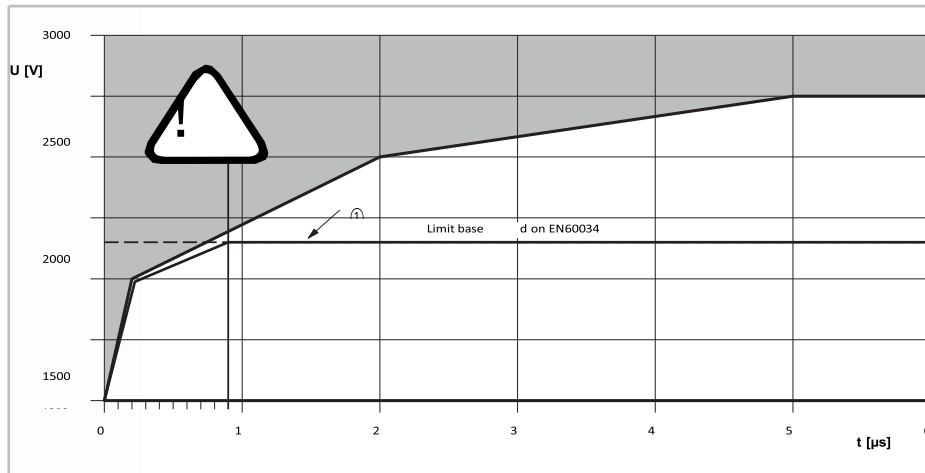


Рис. 6: Пределы повышения напряжения на клеммах мотора. Белая область: допустимый диапазон. t : время нарастания U : импульсное напряжение на клеммах мотора

6 : ограничения на основе EN60034

6.4 Цепь защит

В случае отказов, связанных с безопасностью (таких как превышение максимально высокого давления или перегрузка мотора), преобразователь частоты должен быть немедленно отключен. Для этого аварийного отключения обычной электронной регулировки недостаточно. Надлежащими мерами безопасности являются, например, главный контактор между преобразователем частоты и двигателем, который может немедленно отключить подачу напряжения в случае аварийной ситуации.

6.5 Автоматы защитного отключения

Неисправность внутренних компонентов может привести к тому, что преобразователь частоты будет генерировать постоянный ток большой мощности во всей системе защитного заземления, который не обнаруживается стандартными автоматическими выключателями дифференциального тока. Таким образом, в силовом подключении следует либо отказаться от автоматического выключателя дифференциального тока, либо использовать подходящий.

7 ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

7.1 Конфигурация преобразователя частоты

Проверьте частоту коммутации преобразования в преобразователе частоты и при необходимости настройте ее! Рекомендуемое значение: 2 .. 6 kHz

- Настройте минимальную и максимальную частоту (или скорость)
- Настройте номинальные данные мотора (см. заводскую табличку)
- Ток
- Напряжение
- Частота
- количество полюсов мотора
- (скорость мотора)
- (мощность)

- логика управления: U/f (пропорциональная)
- частота преобразования в преобразователе частоты: используйте около 3 кГц в стандартной комплектации.

Низкие частоты преобразования снижают нагрузку на изоляцию обмоток мотора, в результате чего повышается эффективность.

Более высокие частоты преобразования могут привести к уменьшению шума от мотора, незначительному снижению потерь в моторе и его нагреву. С другой стороны, они приводят к более высоким потерям и, следовательно, к более высокой температуре в преобразователе частоты (возможно, с учетом ухудшения характеристик, т. е. выходная нагрузка уменьшается с повышением температуры окружающей среды).

- Активируйте функцию «Автонастройка» в преобразователе частоты, если она доступна.

При проведении автонастройки с вращением двигателя, двигатель должен вращаться без нагрузки, то есть нагнетательный и всасывающий патрубки компрессора должны быть отсоединены от системы.

- Определите скорость пуска и скорость останова.

Рекомендованное время разгона при пуске от нуля до номинальной частоты – 2 – 3 сек.

Рекомендованное время останова с номинальной частоты до нуля – 2 – 3 сек.

- Определите скорости разгона и замедления во время работы (между мин. и макс. частотой). Во время работы изменение частоты должно быть намного медленнее, чем при пуске и останове, что выгодно для компрессора и всей системы. Как правило, скорость разгона должна быть значительно ниже скорости замедления, разгон обычно в два раза медленнее, чем замедление.

Рекомендуемые изменения скорости при работе:

- Разгон: 5 Гц / сек
- Замедление: 10 Гц / сек

Необходимо настроить защиту двигателя от перегрузки.

Частотный преобразователь должен обеспечить кратковременный рабочий ток в 1,5 раза больше, чем максимальный ток компрессора, для старта компрессора. При этом при работе компрессора и превышении максимального рабочего тока на время больше минуты, частотный преобразователь должен отключить двигатель.

В процессе пусконаладки необходимо контролировать ток на выходе частотного преобразователя, при необходимости снизить максимальную выходную частоту.

7.2 Рекомендуемые последовательности пуска и останова

Изменение скорости при пуске и останове компрессора не должно быть ни слишком быстрым, ни слишком медленным.

- При пуске номинальная частота компрессора должна достигаться за 2 .. 3 сек. Это обеспечивает плавный пуск и в то же время достаточную подачу масла в компрессор.
- При пуске компрессор должен разогнаться до номинальной частоты, и работать на номинальной частоте не менее 1 минуты, после чего должно начаться регулирование, частота должна прийти к значению, заданному на входе преобразователя частоты.
- При останове компрессор должен замедляться равномерно и переходить от номинальной частоты к остановке за 2 .. 3 сек.

Во время работы изменение частоты должно быть намного медленнее, чем при пуске и останове.

7.3 Частота циклов и минимальное время работы

Максимальная частота циклов - 12 пусков в час.

При низких скоростях двигателя компрессора, если компрессор работает на низкой скорости длительное время, скорость компрессора необходимо увеличить до номинальной на время 1 – 2 мин., после чего должно продолжиться регулирование частота должна прийти к значению, заданному на входе преобразователя частоты.

Вибрации

Тщательно проверьте всю систему на всех возможных рабочих частотах на наличие вибраций и резонанса. Проверить систему можно, плавно меняя от минимальной до максимальной, частоту частотного преобразователя в ручном режиме.

Устраните частоты, вызывающие резонанс, путем соответствующей настройки параметров инвертора!

Если проблема с вибрацией обнаружена на определенной скорости или комбинации скоростей, можно изменить или усилить конструкцию трубопровода, чтобы устранить ее. После любых таких изменений систему следует повторно протестировать во всем диапазоне скоростей, чтобы убедиться, что решение проблемы на одной скорости не создает проблемы на другой.

Большинство частотных преобразователей имеют возможность программировать диапазоны скоростей (диапазоны обхода частот), которые следует обходить. Любые диапазоны частот, в которых обнаружены проблемы с вибрацией или шумом, могут быть «исключены» таким образом.