

ST-420-5 RUS

Использование внешних преобразователей частоты с винтовыми компрессорами BITZER

Русский 59

CSH65 .. 96
CSW65 .. 105
HSK53 .. 95
HSN53 .. 95
OSK53 .. 85
OSKA53 .. 95
OSN53 .. 85
OSNA53 .. 95

05.2022

Änderungen vorbehalten
Subject to change
Может быть изменено

BITZER Kühlmaschinenbau GmbH
Peter-Schaufler-Platz 1 // 71065 Sindelfingen // Germany
Tel +49 7031 932-0 // Fax +49 7031 932-147
bitzer@bitzer.de // www.bitzer.de

Содержание

1 Введение	60
2 Безопасность	62
3 Работа с преобразователем частоты	63
3.1 Холодопроизводительность и эффективность системы.....	63
3.2 Область применения	64
4 Подбор	67
4.1 Подбор с помощью BITZER SOFTWARE	67
4.2 Моторы компрессора	71
4.3 Необходимо соблюдать для открытых компрессоров	73
4.4 Катушки регулятора производительности	74
5 Подходящие защитные устройства	74
6 Электрический монтаж компрессора и преобразователя частоты	74
6.1 Прокладка кабелей.....	75
6.2 Клеммы мотора на клеммной колодке	75
6.3 Импульсы напряжения на клеммах мотора	77
6.4 Цепь защит	77
6.5 Коррекция коэффициента мощности.....	78
6.6 Автоматы защитного отключения	78
7 Ввод в эксплуатацию	78
7.1 Конфигурация преобразователя частоты	78
7.2 Рекомендуемые последовательности запуска и останова	80
7.3 Частота циклов и минимальное время работы.....	87

1 Введение

Преобразователь частоты позволяет бесступенчато регулировать холодопроизводительность в соответствии с потребностью системы в охлаждении посредством регулирования скорости. Следующие рекомендации объясняют конструкцию, работу, область применения и особые характеристики

- Винтовые компрессоры BITZER
- в сочетании с внешними преобразователями частоты для регулирования скорости, например. BITZER VARIPACK.

Все винтовые компрессоры BITZER подходят для работы выше и ниже частоты электросети и, таким образом, могут работать в исключительно широком диапазоне производительности.

Особенности работы с преобразователем частоты (FI):

- более высокая эффективность системы, особенно при частичной нагрузке
- возможен более точный контроль температуры
- точная температура охлаждающей жидкости для чувствительного технологического охлаждения, соотв. температура теплоносителя для тепловых насосов
- более высокая эффективная температура испарения, следовательно, меньшее осушение неупакованных пищевых продуктов и сырья в холодильных камерах, а также меньшее обледенение на испарителе
- меньше запусков компрессора
- меньшая нагрузка на мотор и электросеть благодаря встроенному плавному пуску: пусковой ток ниже, чем при прямом пуске, плавном пуске, звезде-треугольнике или пуске с частичными 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 Hz, т.е., возможно, сокращение затрат на кВт холодопроизводительности)

На рисунке ниже показаны меньшие колебания температуры при регулировании преобразователем частоты:

- Регулирование «On/off», левая треть: большие колебания температуры, относительно низкая средняя эффективная температура испарения (тонкая пунктирная линия)
- Ступенчатое механическое регулирование, средняя треть: снижение колебаний температуры благодаря более быстрому регулированию, более высокая средняя эффективная температура испарения и, следовательно, более высокая эффективность.
- Регулирование с преобразователем частоты, правая треть: очень стабильная температура в хол. камере и соотв. температура охлаждающей жидкости (возможно $\pm 0,5$ K) благодаря бесступенчатому регулированию, более высокая средняя эффективная температура испарения и, следовательно, более высокая эффективность, а также, например, значительно ниже осушение неупакованных пищевых продуктов и сырья

При работе с преобразователем частоты средняя температура испарения может быть повышена, напр. от -7 до $-4,5^{\circ}\text{C}$. Повышение температуры испарения на 1 K повышает эффективность системы до 3%.

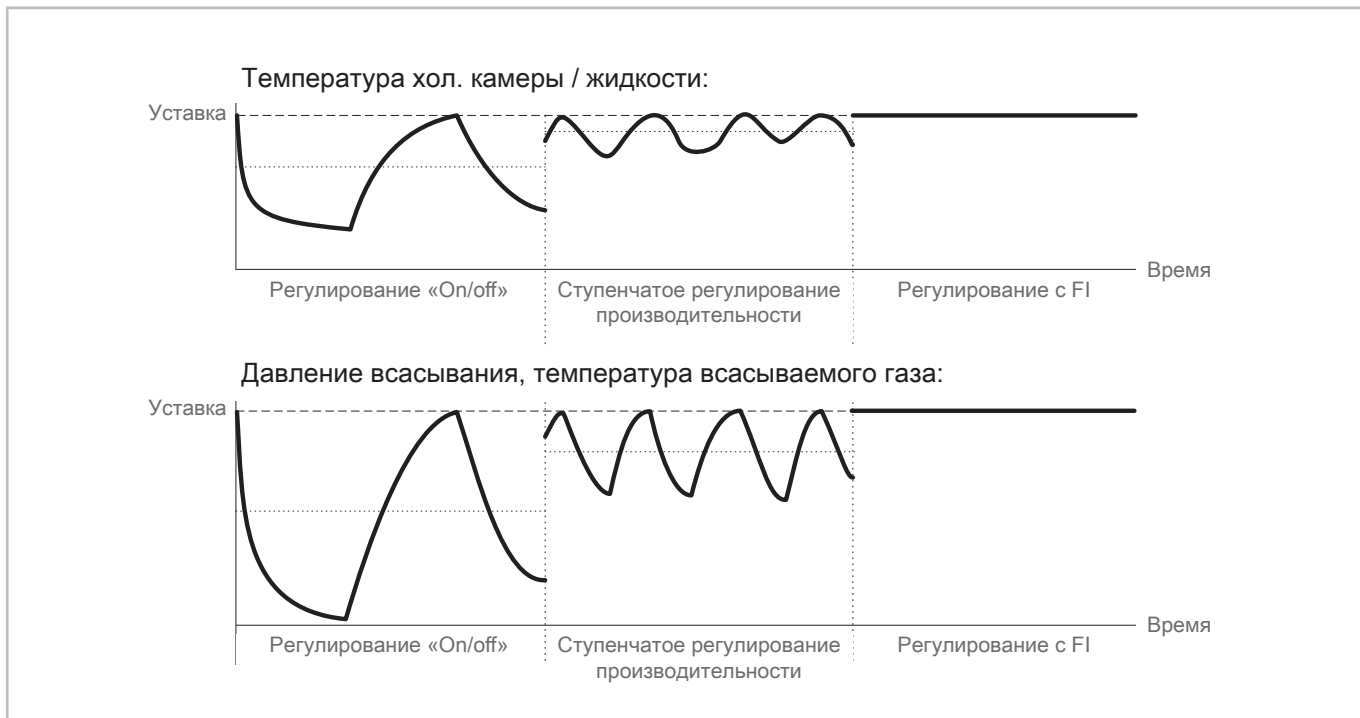


Рис. 1: Регулирование производительности с помощью преобразователя частоты (FI) по сравнению с «on/off» и ступенчатым механическим регулированием

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

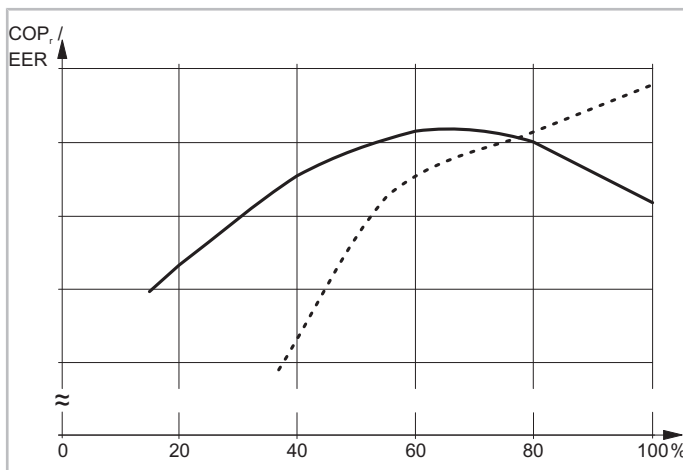


Рис. 2: Сравнение характеристик эффективности регулирования производительности винтовых компрессоров с золотниковым регулированием и преобразователем частоты (FI): коэффициент производительности COPr/EER (отношение холодопроизводительности к потребляемой мощности) в зависимости от нагрузки.

Пунктирная линия: CSW с золотниковым регулированием, серия компрессоров оптимизирована для полной нагрузки COPr/EER.

Сплошная линия: CSVW с регулированием производительности FI, серия компрессоров оптимизирована для частичной нагрузки COPr/EER (диапазон регулирования: 6.2:1).

Условия эксплуатации: R134a, t_b : 5°C / t_c : 38°C / $\Delta t_{об}$: 5 К.

При золотниковом регулировании оптимальное соотношение COPr/EER всегда составляет 100 %, тогда как при FI оно достигается в диапазоне частичной нагрузки и может регулироваться конструкцией компрессора и диапазоном регулирования. Из-за противоречивых целей высокого COPr/EER при полной нагрузке и высокой эффективности при частичной нагрузке необходим компромисс.

Также соблюдайте следующие технические документы

SB-100: Инструкция по эксплуатации полугерметичных винтовых компрессоров HS.53 .. HS.74

SB-110: Инструкция по эксплуатации полугерметичных винтовых компрессоров HS.85 и HS.95

SB-170: Инструкция по эксплуатации полугерметичных компактных винтовых компрессоров CS.

SB -500: Инструкция по эксплуатации открытых винтовых компрессоров OS.53 .. OS.74

SB -510: Инструкция по эксплуатации открытых винтовых компрессоров OS.85

SB -520: Инструкция по эксплуатации открытых винтовых компрессоров OS.95

CB -110: Инструкция по эксплуатации VARIPACK — внешние преобразователи частоты BITZER

2 Безопасность

Специалисты, допускаемые к работе

Все работы на компрессорах и холодильных системах имеет право осуществлять только квалифицированный персонал, прошедший обучение и инструктаж на все виды работ. Квалификация и компетенция специалистов должны соответствовать действующим в каждой отдельной стране предписаниям и директивам.

Остаточная опасность

Продукты, электронные аксессуары и другие компоненты системы могут являться источниками неизбежной остаточной опасности. Поэтому все работающие на этом оборудовании должны внимательно изучить данный документ! Обязательные для соблюдения предписания:

- соответствующие правила техники безопасности и нормы
- общие правила техники безопасности,
- предписания ЕС,
- национальные правила и стандарты безопасности.

Пример применимых стандартов: EN378, EN60204, EN60335, EN ISO14120, ISO5149, IEC60204, IEC60335, ASHRAE 15, NEC, стандарты UL.

Средства индивидуальной защиты

При работе с системами и их компонентами: Носите защитную рабочую обувь, защитную одежду и защитные очки. Кроме того, надевайте перчатки для защиты от холода при работе с открытым контуром охлаждения и с компонентами, которые могут содержать хладагент.



Рис. 3: Используйте средства индивидуальной защиты!

Указания по технике безопасности

это указания, направленные на предотвращение опасных ситуаций. Указания по технике безопасности следует соблюдать неукоснительно!



ВНИМАНИЕ

Указания по предотвращению ситуаций, которые могут привести к возможному повреждению оборудования.



ОСТОРОЖНО

Указания по предотвращению потенциально опасных ситуаций, которые могут привести к возможным легким травмам персонала.



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Указания по предотвращению потенциально опасных ситуаций, которые могут привести к возможным серьезным травмам персонала или смерти.



ОПАСНОСТЬ

Указания по предотвращению опасных ситуаций, приводящих к серьезным травмам персонала или смерти.

Все работы на компрессорах и холодильных системах имеет право осуществлять только квалифицированный персонал, прошедший обучение и инструктаж на все виды работ. Квалификация и компетенция специалистов должны соответствовать действующим в каждой отдельной стране предписаниям и директивам.

3 Работа с преобразователем частоты

3.1 Холодопроизводительность и эффективность системы

Механическое регулирование производительности

Холодопроизводительность винтового компрессора может быть механически адаптирована к запрашиваемой от системы производительности, т.е. золотником или регулируемыми поршнями – в многокомпрессорных системах также (дополнительно) включением и выключением отдельных компрессоров. Компрессор работает с постоянной скоростью, скорость мотора напрямую зависит от частоты сети. Это приводит к следующей номинальной скорости для 2-полюсных асинхронных моторов:

- 2900 min⁻¹ при 50 Hz и
- 3500 min⁻¹ при 60 Hz.

Регулирование производительности с преобразователем частоты

Средний момент на валу компрессора в основном зависит от условий эксплуатации и свойств хладагента. Таким образом, он остается примерно постоянным в широком диапазоне скорости/частоты. Таким образом, холодопроизводительность и потребляемая мощность изменяются примерно пропорционально скорости (см. график ниже), холодопроизводительность может плавно адаптироваться посредством регулирования скорости. Ниже приведены допустимые скорости/частоты для компрессоров BITZER (см. главу Область применения, стр. 64).

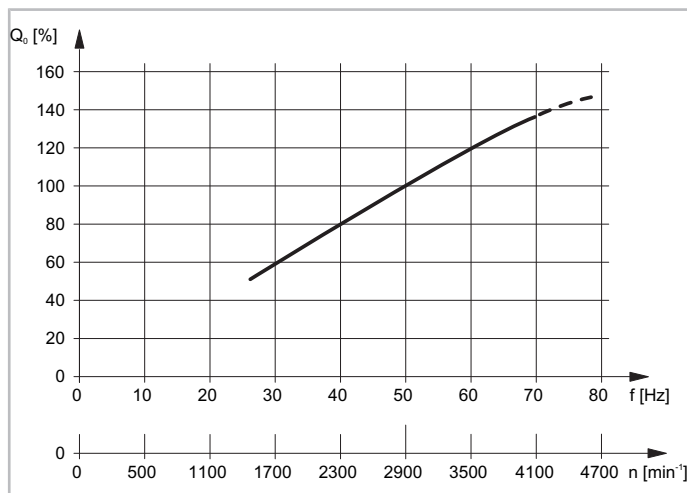


Рис. 4: Типовой график холодопроизводительности Q₀ в зависимости от частоты питания и частоты вращения винтового компрессора

ВНИМАНИЕ

Повреждение компрессора и мотора!

Не комбинируйте преобразователь частоты с механическим регулированием производительности компрессора! Особенно при низкой скорости адекватное охлаждение мотора не гарантируется, поскольку массовый расход хладагента сильно снижается. Некоторые исключения для винтовых компрессоров возможны по согласованию с BITZER.

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 инвертора вовлечено несколько переменных, влияющих на работу и запуск компрессора:

- кривая напряжения ограничивает и регулирует эл. питание мотора,
- частота коммутации преобразователя частоты регулирует производительность и надежность мотора,
- 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 инвертора 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/частоты (U/f).

3.2 Область применения

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

- минимальная и максимальная частота (см. ниже)
- максимальная температура мотора
- максимальная температура нагнетаемого газа или масла и/или перепад давления ($p_c - p_o$)
- максимальное и минимальное давление нагнетания
- максимальный рабочий ток компрессора
- максимальная температура испарения
- минимальный перепад давления ($p_c - p_o$)
- минимальное давление всасывания (должно быть немного выше атмосферного давления)
- минимальный массовый расход хладагента для охлаждения мотора и т.д.
- достаточная подача масла для уплотнения в области профиля
- достаточное дополнительное охлаждение

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

Диапазоны скоростей и частот

Компрессор	Диапазон частот (Hz)	Диапазон скоростей (min-1)	Примечания
HS.53 .. HS.85	20 .. 75	1200 .. 4400	
HS.95	25 .. 60	1450 .. 3500	
CS.65 .. CS.105	25 .. 60	1450 .. 3500	В некоторых случаях по запросу диапазоны могут быть расширены. Версия со встроенным FI: CSV.
OS.53	25 .. 75	1450 .. 4500	
OS.74 .. 85	25 .. 67	1450 .. 4000	
OS.95	25 .. 67	1450 .. 4000	

Таб. 1: Допустимые диапазоны скоростей и частот винтовых компрессоров BITZER (также соблюдайте области применения и максимальное потребление тока мотора)

Конструкция при различных напряжениях и частотах эл. питания

Если электропитание отличается от стандартных условий (400 V/3/50 Hz), требуются моторы с особым напряжением и адаптированная конструкция преобразователя частоты (см. главу «Моторы компрессоров», стр. 71). Дополнительная информация доступна по запросу.

Области применения для работы с преобразователем частоты

На следующем рисунке в качестве примера показаны области применения для HS-компрессоров, работающих на разных частотах, и как они могут меняться в зависимости от температуры испарения и конденсации. Конкретные области применения для конкретных компрессоров, моторов и хладагентов указаны в BITZER SOFTWARE.

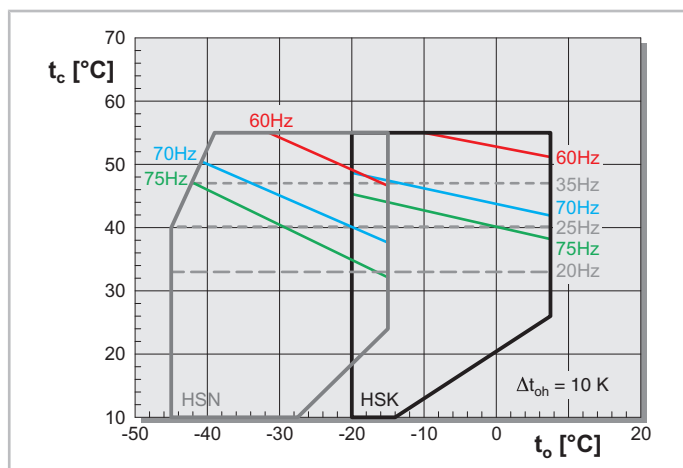


Рис. 5: Пример области применения для винтовых компрессоров HS.64 с преобразователем частоты для хладагента R404A. Компрессор можно эксплуатировать только **ниже** указанных линий частот.

t_o : температура испарения, t_c : температура конденсации, Δt_{oh} : перегрев всасываемого газа

Пунктирные серые линии (20 .. 35 Hz): Пределы в зависимости от температуры мотора.

Сплошные цветные линии (60 .. 75 Hz): Пределы, связанные с температурой мотора или максимальным током.

Аналогичным образом, на следующем рисунке в качестве примера показаны области применения компрессоров CSH. Конкретные области применения, моторы и хладагенты указаны в BITZER SOFTWARE. Для CS-компрессоров, BITZER разработал специальную серию CSV, со встроенным преобразователем частоты, где компрессор и FI оптимально дополняют друг друга (см. инструкцию по эксплуатации SB-160).

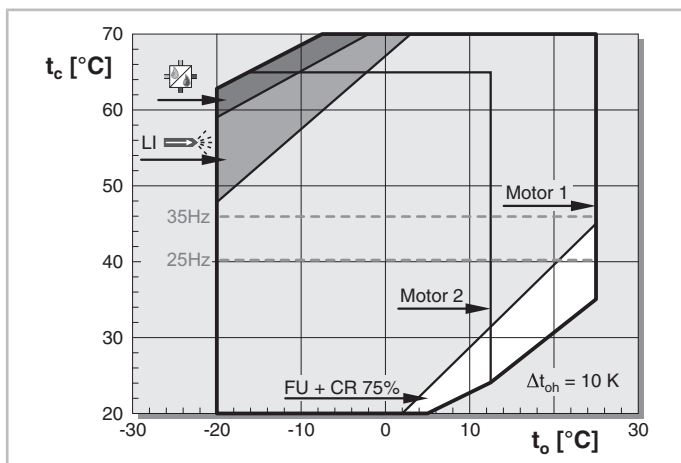


Рис. 6: Пример областей применения для винтовых компрессоров CSH с преобразователем частоты (FU) для хладагента R134a. Компрессор можно эксплуатировать только **ниже** указанных линий частот.

t_o : температура испарения, t_c : температура конденсации, Δt_{oh} : перегрев всасыв

Светло-серая область сверху слева: требуется дополнительное охлаждение.

Пунктирные серые линии (25 .. 35 Hz): пределы в зависимости от температуры мотора.

Работа на частоте 60 Hz по индивидуальному проекту.

Белая область внизу справа: CR макс. 75%.

Вибрации

Вибрации компрессора и пульсации давления, как правило, очень малы ввиду конструкции. Однако они могут вызывать резонансные частоты в трубопроводах и теплообменниках (т. е. соответствовать собственной частоте системы), 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.
- резонанс с линией экономайзера (для винтовых и спиральных компрессоров)

Частота этих вибраций 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 (см. стр. 79).

4 Подбор

4.1 Подбор с помощью BITZER SOFTWARE

i Информация

В настоящее время BITZER SOFTWARE предлагает расчеты с преобразователем частоты только для HS. компрессоров.

Шаг 1: Подбор компрессора

Сначала выберите хладагент, холодопроизводительность и рабочие точки, а затем выберите «Внешний FI». Затем запустите расчет, нажав на кнопку . После этого программа предложит два подходящих компрессора в диапазоне максимальной рабочей частоты, каждый со своим стандартным мотором (см. главу «*Моторы компрессоров*», стр. 71). Если выбран один из компрессоров, программа указывает частоту, холодопроизводительность и потребляемый ток (напряжение):

The screenshot shows the BITZER SOFTWARE interface. On the left, the 'Compressor selection' section is active, showing 'Semi-hermetic Screw Compressors HS' selected. The 'Compressor model' is set to 'HSK8571-140'. The 'External FI' is set to '60 Hz'. The 'Power supply' section shows 'Power frequency' as '50Hz' and 'Power voltage' as 'Standard (400V)'. On the right, the 'Result' tab is selected, displaying 'Tentative Data' for the selected compressor model 'HSK8571-140-40P'. The data table is as follows:

Parameter	Value
Compressor	HSK8571-140-40P
Frequency compressor	60,0 Hz
Cooling capacity	260 kW
Cooling capacity *	260 kW
Evaporator capacity	260 kW
Power input	129,4 kW
Current (400V)	212 A
Voltage range	380-415V
Condenser capacity	383 kW
COP/EER	2,01
COP/EER *	2,01
Mass flow LP	9228 kg/h
Mass flow HP	9228 kg/h
min. cooling capacity	132,7 kW (33 Hz)
max. cooling capacity	278 kW (64 Hz)
Operating mode	Standard
Liquid temp.	44,7 °C
Oil volume flow	2,46 m³/h
Cooling method	-
Discharge gas temp. w/o cooling	71,9 °C

Рис. 7: BITZER SOFTWARE показывает частоту, холодопроизводительность и потребляемый ток (напряжение) для выбранного компрессора.

Постепенно увеличивая рабочую частоту (ползунок «Внешний FI»), можно найти максимальную рабочую частоту для выбранной комбинации компрессора, хладагента и рабочей точки. Для работы выше этой частоты требуется более мощная версия мотора (выбирается в раскрывающемся меню «Модель компрессора») или мотор с особым напряжением. (см. главу «*Моторы компрессоров*», стр. 71). Однако расчет моторов с особым напряжением не реализован в BITZER SOFTWARE и доступен по запросу.

The screenshot shows the Bitzer software interface with the following settings:

- Project: Germany
- Mode: English
- Options: SI
- Compressor selection: Semi-hermetic Screw Compressors HS
- Series: all
- Refrigerant: R404A
- Reference temperature: Dew point temp.
- Compressor selection expanded:
 - Cooling capacity: 100
 - Compressor model: HSK8571-140
 - Operating point: (collapsed)
 - Operating conditions: (collapsed)
 - Capacity control: (collapsed)
- without: (unchecked)
- External FI: 69 Hz (checked)
- Power supply expanded:
 - Power frequency: 50Hz
 - Power voltage: Standard (400V)

On the right side, the 'Show Overview' section is active, displaying a warning message in a red box:

Allowed current consumption exceeded. Reduce frequency or select larger motor version or select special voltage motor (on request). [264]

Рис. 8: Увеличивая рабочую частоту выбранного компрессора, можно превысить максимальное потребление тока. В этом случае программа рекомендует более мощную версию мотора или мотор со специальным напряжением.

Шаг 2а: Подбор преобразователя частоты BITZER VARIPACK (при наличии)

Нажмите кнопку «Доп. оборудование» в строке меню вверху.

i Информация

Кнопка «Доп. оборудование» становится активной только после предварительного расчета!

Подходящий преобразователь частоты можно выбрать непосредственно в дополнительном окне. Благодаря модульной конструкции преобразователей частоты VARIPACK доступен широкий спектр версий — гибких и совместимых с компрессорами BITZER. Для получения подробной информации см. информационную кнопку рядом с ползунком «Внешний FI» .

Пусковые характеристики компрессоров были оптимизированы для преобразователей частоты VARIPACK, протестированы для различных хладагентов, а результаты реализованы в BITZER SOFTWARE. Это обеспечивает безопасный запуск компрессора с преобразователями VARIPACK при любых условиях эксплуатации.

Кроме того, BITZER SOFTWARE визуализирует результирующие пределы частоты выбранной в данный момент комбинации компрессора, хладагента, рабочей точки и преобразователя частоты VARIPACK в области применения:

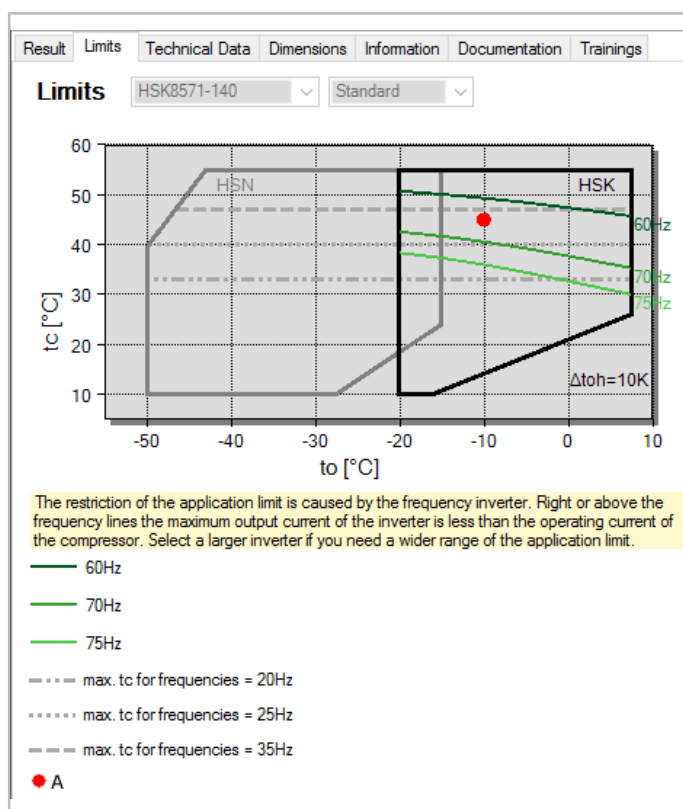


Рис. 9: Визуализация области применения преобразователя частоты в BITZER SOFTWARE.

Если желательны меньшие ограничения относительно максимально возможной частоты, их можно расширить, выбрав более мощный преобразователь частоты (если мотор не является ограничивающим фактором):

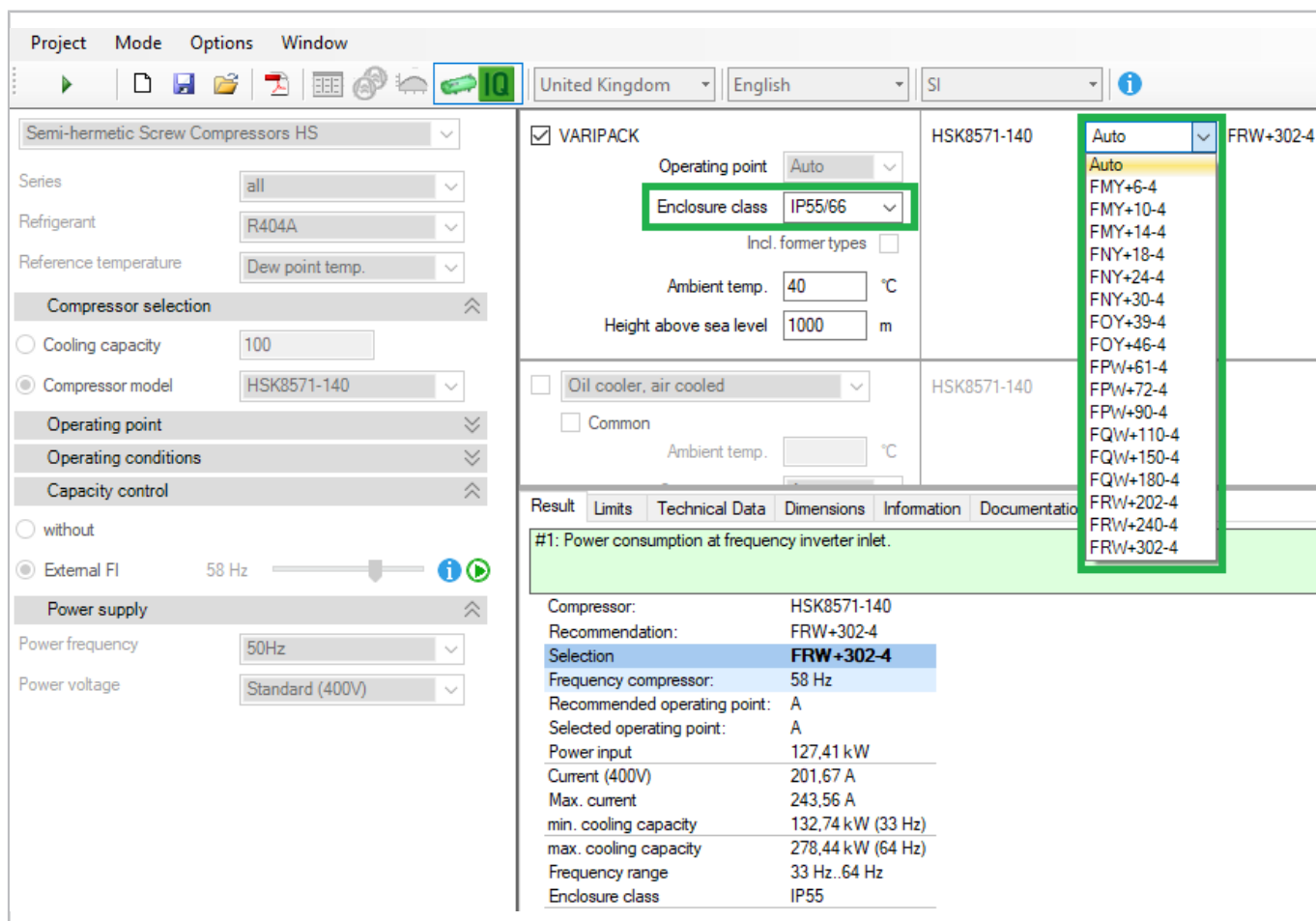


Рис. 10: Меню выбора преобразователя частоты VARIPACK в модуле «Доп. оборудование» в BITZER SOFTWARE

Дополнительные сведения о VARIPACK см. в Инструкции по эксплуатации [CB-110](#).

Шаг 2b: Подбор преобразователя частоты другого производителя

- Обеспечьте резерв не менее 10 % для рабочего тока.

Преобразователь частоты должен иметь возможность непрерывно подавать рабочий ток на компрессор при любых ожидаемых условиях эксплуатации. Следует запланировать не менее 10% дополнительного резерва, т.е. иметь возможность компенсировать пониженное напряжение в сети. Если преобразователь частоты имеет функции ограничения, которые ограничивают максимальную частоту в таких условиях для обеспечения эксплуатационной безопасности (например, BITZER VARIPACK), можно закладывать меньший резерв.

- Учитывайте перегрузочную способность при запуске компрессора.

Кроме того, необходимо учитывать коэффициент компенсации F_c для тока на время запуска компрессора. Для винтовых компрессоров этот коэффициент равен: $F_s = 1,2$. Он умножается на «Макс. рабочий ток», который BITZER SOFTWARE указывает для соответствующего мотора во вкладке «Технические данные» (см. ниже). Этот максимальный ток должен находиться в пределах кратковременной перегрузочной способности преобразователя частоты, в противном случае потребуется более мощный преобразователь частоты.

The screenshot shows the BITZER SOFTWARE interface with the following settings and data:

- Project: Semi-hermetic Screw Compressors HS
- Series: all
- Refrigerant: R404A
- Reference temperature: Dew point temp.
- Compressor selection: HSK8571-140
- Operating point: 100
- Operating conditions: 60 Hz
- Capacity control: without
- External FI: 60 Hz
- Power supply: Standard (400V)
- Power frequency: 50Hz
- Power voltage: Standard (400V)

Technical Data Table:

Result	Limits	Technical Data	Dimensions	Information	Documentation	Trainings
Technical Data (Model: HSK8571-140)						
Displacement (2900 RPM 50 Hz)		410 m3/h				
Displacement (3500 RPM 60 Hz)		495 m3/h				
Weight		600 kg				
Max. pressure (LP/HP)		19 / 28 bar				
Connection suction line		DN 100				
Connection discharge line		76 mm - 3 1/8"				
Adapter/shut-off valve for ECO		28 mm - 1 1/8" (Option)				
Adapter for liquid injection		22 mm - 7/8" (Option)				
Oil type R22		B150SH, B100 (Option)				
Oil type R134a/R404A/R507A/R407A/R407F		BSE170 (Option)				
Oil type R448A/R449A		BSE170 (Option)				
Motor data						
Motor voltage (more on request)		380-415V PW-3-50Hz				
Max operating current		246.0 A				

Рис. 11: «Макс. рабочий ток», указанный в BITZER SOFTWARE (здесь: 246 A), умноженный на коэффициент компенсации конкретного компрессора (для винтовых компрессоров: $F_s = 1,2$), дает необходимую кратковременную перегрузочную способность преобразователя частоты. Для преобразователей частоты BITZER VARIPACK это уже учтено в конструкции.

4.2 Моторы компрессора

Преобразователь частоты не может подавать напряжение выше напряжения питания. Следовательно, напряжение статора не может увеличиваться при более высокой частоте инвертора. При этом уменьшается ток намагничивания в главной индуктивности, ослабляется вращающееся поле статора и вращающий момент.

Это означает, что при повышении частоты выше синхронной скорости отношение напряжение-частота U/f падает. Поскольку крутящий момент, требуемый для компрессора, остается постоянным, потребление тока мотором будет увеличиваться (рисунок ниже, см. рис. 12, стр. 72). Следовательно, мотор должен иметь достаточный резерв (ток/мощность) при частоте электросети. Частота/скорость могут быть увеличены до максимального тока мотора (RMS – среднеквадратичное значение) (см. максимальный рабочий ток на заводской табличке или в BITZER SOFTWARE).

Для безопасной работы выше частоты электросети в среднетемпературных применениях может потребоваться версия компрессора с более мощным мотором (например, HSK вместо HSN).

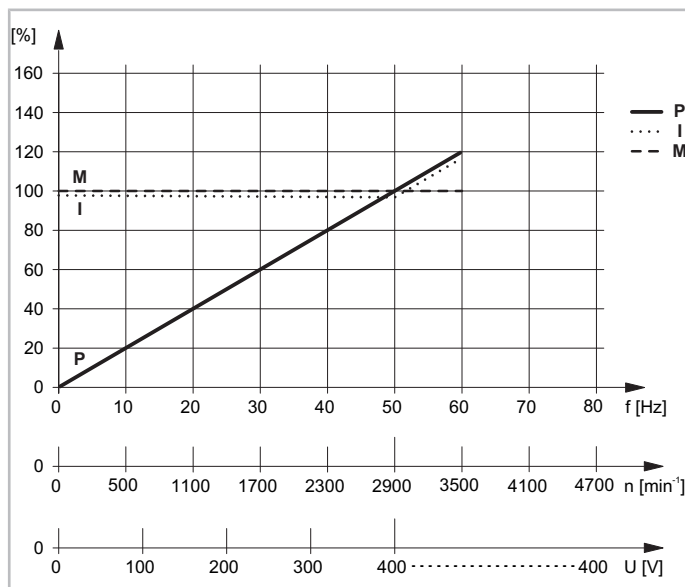


Рис. 12: Рабочие характеристики мотора компрессора для работы с преобразователем частоты (400 V/3/50 Hz) с резервом.

P : макс. потребляемая мощность компрессора
M: макс. крутящий момент мотора на валу компрессора
I: макс. потребление тока компрессора
f: частота (на выходе преобразователя частоты)
U: напряжение (на выходе преобразователя частоты)

Стандартные моторы

Для обычных применений BITZER предлагает использовать стандартные моторы. Они очень экономичны и имеют большой рабочий диапазон: момент.

Винтовые ком-прессоры BITZER	Мотор	Напряжение питания
HS.53 .. 85 CS.65 .. 85	40P (мотор с частичными обмотками)	400 V при 50 Hz 460 V при 60 Hz
HS.95 CS.95 .. 105	40D (мотор звезда-треугольник)	400 V при 50 Hz 460 V при 60 Hz

Таб. 2: Стандартные моторы для работы с внешним преобразователем частоты

Моторы специального напряжения

Если мотор работает с максимальным рабочим током уже при стандартных условиях и частоте питания, может быть полезен мотор специального напряжения для достижения большего диапазона регулирования. Это гарантирует, что постоянное отношение напряжения к частоте U/f может поддерживаться даже выше частоты электросети. Постоянный крутящий момент доступен во всем диапазоне применения. В зависимости от конструкции и/или допустимого диапазона частот вращения компрессора предпочтительным вариантом мотора является (для электросети 400 V/3/50 Hz):

- 25P: 230 V/3/50 Hz (+73% по рабочему току компрессора) при полном крутящем моменте мотора – соблюдайте максимально допустимую скорость компрессора! (см. рисунок ниже, график ③)



ВНИМАНИЕ

Повреждение компрессора и мотора при превышении скорости!
Соблюдайте верхний предел скорости компрессора! См. область применения.

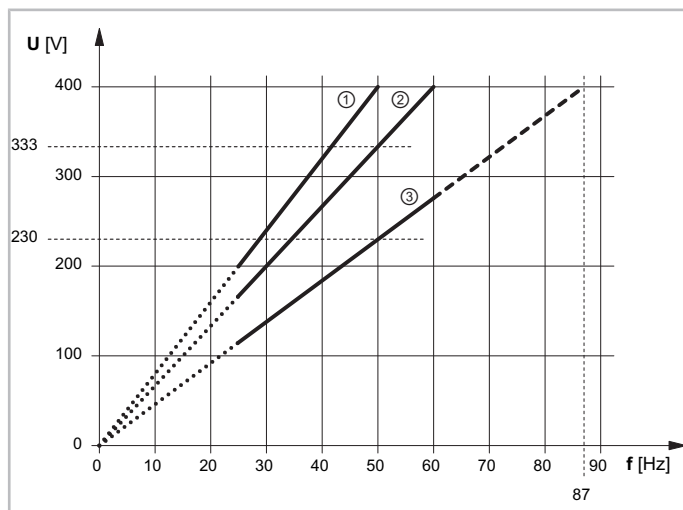


Рис. 13: Увеличение напряжения в зависимости от частоты для различных моторов, пример для CS. компрессоров.

- ①: 400 V/3/50 Hz
- ②: 400 V/3/60 Hz
- ③: 230 V/3/50 Hz

При такой конструкции рабочий ток на графике ② в 1,2 раза выше, чем в случае 400 V/50 Hz; на графике ③ в 1,73 раза выше. Это увеличивает капитальные затраты на преобразователь частоты, соответственно преобразователь частоты должен быть выбран соответствующим образом.

Информация

Стандартный мотор обеспечивает непосредственную работу компрессора от сети с контакторами в случае выхода из строя преобразователя частоты (аварийный режим).

4.3 Необходимо соблюдать для открытых компрессоров

Выберите мотор и преобразователь частоты по согласованию с производителями. Стандартные моторы для открытых компрессоров могут не подходить для работы с преобразователями частоты- критична, например высота до вала более >225 mm.

ВНИМАНИЕ

Опасность повреждения мотора из-за недостаточного охлаждения!
Убедитесь, что мотор имеет достаточное охлаждение на каждой скорости! Соблюдайте ограничения по применению, указанные производителем мотора.

Защита мотора

Помимо обычной линии защитного отключения, дополнительно рекомендуется использовать защиту обмотки мотора по встроенным термисторам, чтобы гарантировать, что мотор работает только при допустимых температурах.

Муфта вала и уплотнение

Тщательно подбирайте муфту (см. BITZER SOFTWARE). Для работы на низкой скорости (частоте) необходимо выбрать муфту вала с достаточной инерцией.

Реле защиты по чередованию фаз

Поскольку неправильная последовательность фаз/направление вращения недопустимы и могут повредить винтовой компрессор, необходим контроль направления вращения. Однако большинство доступных устройств не способны определять выходное напряжение инвертора и, следовательно, вращающееся поле. При необходимости свяжитесь с BITZER.

4.4 Катушки регулятора производительности

При конфигурировании компрессора HS.64..74 или OS.74 "катушки для регулятора производительности" (стандартный комплект поставки) могут быть исключены: Поршни регулирования в таком случае работают в качестве разгрузки при пуске, что подходит для работы с преобразователем частоты.

Все остальные компрессоры (т. е. все компрессоры с золотниковым регулированием, а также HS.53) нуждаются в катушках для пуска, разгрузки при пуске – с преобразователем частоты или без него (см. главу Рекомендуемые последовательности пуска и останова, стр. 80).

5 Подходящие защитные устройства

Для работы винтовых компрессоров с преобразователем частоты подходят следующие устройства защиты компрессора:

- Устройство защиты SE-E5, подробнее см. в Технической информации CT-120.
- Устройство защиты SE-i1, подробнее см. в Технической информации CT-110.
- Модуль компрессора CM-SW-01, подробнее см. в Технической информации ST-150.

Какое устройство доступно для какого компрессора, указывается при подборе в BITZER SOFTWARE.

6 Электрический монтаж компрессора и преобразователя частоты

В этой главе рассматриваются некоторые важные аспекты, которые следует учитывать при установке и вводе в эксплуатацию внешнего преобразователя частоты.

- Для преобразователей частоты, произведенных не BITZER: См. также соответствующие инструкции по эксплуатации!
- Для преобразователя частоты BITZER VARIPACK см. Инструкцию по эксплуатации CB-110. Она также подробно объясняет электрические подключения и функции управления.
- Принципиальные схемы подключения различных компрессоров с преобразователем частоты собраны в Технической информации AT-300.

Для получения дополнительной информации см. также Руководство ASERCOM «Рекомендации по использованию преобразователей частоты с холодильными компрессорами объемного принципа действия», глава 6.

Состояние поставки компрессора:



ОСТОРОЖНО

Компрессор наполнен защитным газом: Избыточное давление 0,5 .. 1 bar азота.
Риск повреждения кожи и глаз.



Сбросьте давление в компрессоре!
Наденьте защитные очки!

Для работы с электросистемой:



ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ

Опасность поражения электрическим током!



Перед работой с клеммной коробкой, корпусом модуля и электрическими линиями: Выключите главный выключатель и заблокируйте его от повторного включения!

Перед повторным включением закройте клеммную коробку и корпус модуля!



ВНИМАНИЕ

Модуль компрессор может быть поврежден или выйти из строя!
 Никогда не подавайте напряжение на клеммы CN7-CN12 — даже в целях проверки!
 Напряжение, подаваемое на клеммы CN13, не должно превышать 10 V!
 Напряжение, подаваемое на клемму 3 CN14, не должно превышать 24 V! Не подавайте напряжение на другие клеммы!

Для работы с преобразователем частоты (FI):



ОПАСНОСТЬ

Неправильное или недостаточное заземление может привести к опасному для жизни поражению электрическим током при контакте с преобразователем частоты!



На постоянно заземлите весь преобразователь частоты и регулярно проверяйте заземляющие контакты!

Перед любым вмешательством в устройство проверьте все подключения напряжения на надлежащую изоляцию.



ВНИМАНИЕ

Эксплуатация преобразователя частоты при высоких температурах приводит к стрессу и сокращению срока службы!

Учитывайте максимальную температуру окружающей среды в месте установки.

Соблюдайте минимальные отступы для вентиляции.

6.1 Прокладка кабелей

Строго соблюдайте рекомендации и требования производителя преобразователя частоты по монтажу! Обратите особое внимание на следующее:

- Силовой кабель между преобразователем частоты и мотором компрессора должен иметь соответствующий EMC-экран, который соединяется как с монтажной пластиной электрического шкафа, так и с корпусом мотора 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.
- Мотор следует заземлить с помощью защитного провода этого кабеля.
- Кроме того, корпус компрессора должен быть отдельно заземлен 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 на клеммной колодке

HS.85 .. 95 / CS.85 .. 95

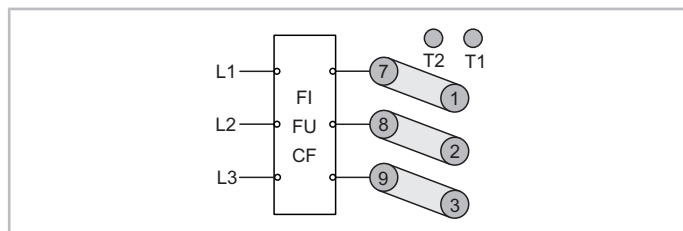


Рис. 14: Клеммы мотора на клеммной колодке для работы с внешним преобразователем частоты (FI) для винтовых компрессоров

типы HS.85 / CS.85: мотор с частичными обмотками и прямым пуском от сети

типы HS.95 / CS.95: мотор звезда-треугольник с подключением треугольником

HS.64 .. 74 / CS.75

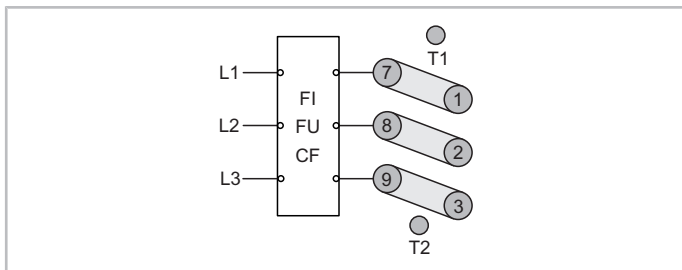


Рис. 15: Клеммы мотора на клеммной колодке для работы с внешним преобразователем частоты (FI) для винтовых компрессоров типов HS.64 .. 74 и CS.75, мотор с частичными обмотками и прямым пуском от сети

HS.64 .. 74 / CS.75

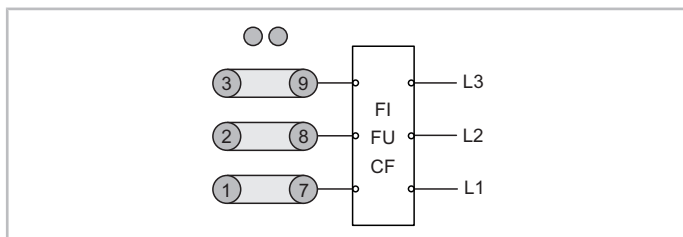


Рис. 16: Клеммы мотора на клеммной колодке для работы с внешним преобразователем частоты (FI) для винтовых компрессоров типов HS.53 и CS.65, мотор с частичными обмотками и прямым пуском от сети

Винтовые компрессоры BITZER серии OS. приводятся в действие внешними двигателями. Информацию о клеммах двигателя см. в документации производителя двигателя.

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.

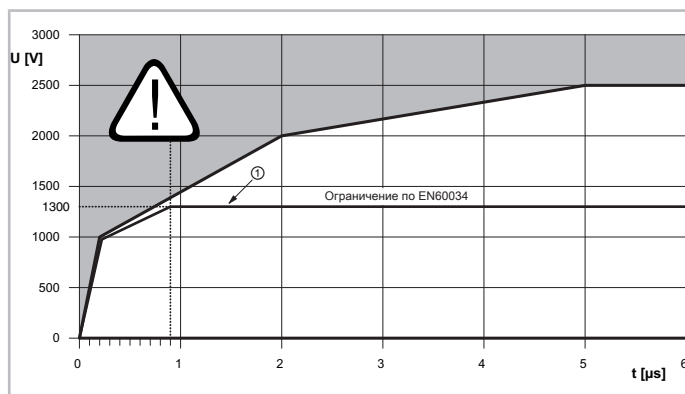


Рис. 17: Пределы повышения напряжения на клеммах мотора. Белая область: допустимый диапазон.

t: время нарастания

U: импульсное напряжение на клеммах мотора

①: 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 мотором, который может немедленно отключить подачу тока.

Более предпочтительным вариантом является преобразователь частоты с функцией безопасного снятия крутящего момента (STO) (например, BITZER VARIPACK) с одобренным интегрированным подключением в цепь защит в соответствии с EN61800-5-2.

6.5 Коррекция коэффициента мощности

Преобразователи частоты генерируют реактивную мощность с малым рабочим объемом, поэтому коррекция коэффициента мощности обычно не требуется – она может даже иметь отрицательный эффект. Чрезмерная компенсация может привести к пикам напряжения, которые могут повредить электрические компоненты.

6.6 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.



ОПАСНОСТЬ

Опасность для жизни из-за поражения электрическим током из-за системы защитного заземления и заземленных корпусов машин!



Тщательно выбирайте и монтируйте автоматические выключатели дифференциального тока. Проверьте систему защитного заземления.

Если в силовое подключение должен быть встроен автоматический выключатель дифференциального тока, он должен быть чувствителен ко всем типам тока (тип В). Этот тип способен обнаруживать дифференциальные постоянные токи.

7 Ввод в эксплуатацию

7.1 Конфигурация преобразователя частоты

Для работ на преобразователе частоты (FI):



ОПАСНОСТЬ

Опасные для жизни напряжения внутри корпуса FI!
Прикосновение может привести к серьезным травмам или смерти.



Никогда не открывайте корпус FI во время работы!
Выключите главный выключатель и заблокируйте его от повторного включения.
Подождите не менее 5 минут, пока не разрядятся все конденсаторы!
Перед повторным включением закройте корпус FI.



ОСТОРОЖНО

При работе радиатор преобразователя частоты нагревается.
Опасность ожога при контакте!



Перед выполнением работ на преобразователе частоты отключите электропитание и подождите не менее 15 минут, пока радиатор не остынет.



ВНИМАНИЕ

Опасность отказа преобразователя частоты из-за перенапряжения!
Всегда отключайте преобразователь частоты от проверяемой цепи перед любыми испытаниями высоким напряжением или испытаниями изоляции на работающих линиях!



ВНИМАНИЕ

Опасность повреждения мотора!
Проверьте частоту коммутации преобразования в преобразователе частоты и при необходимости настройте ее!

- Настройте минимальную и максимальную частоту (или скорость)
- Настройте номинальные данные мотора (см. фирменную табличку)
 - ток
 - напряжение
 - частота
 - количество полюсов мотора
 - (скорость мотора)
 - (мощность)
 - ($\cos \varphi$)
- логика управления: U/f (пропорциональная)
- частота преобразования в преобразователе частоты: используйте ок. 3 kHz 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.
- Определите возрастающий рамп (последовательность пуска) и нисходящий рамп (последовательность останова), см. ниже.
- Определите рамп скорости во время работы (между минимальной и максимальной частотой). Здесь изменение частоты должно быть намного медленнее, чем при пуске и останове, что выгодно для компрессора и всей системы. Оптимальный рамп также зависит от типа системы (многокомпрессорная система, один компрессор в жидкостном чиллере и т. д.). Особенно для жидкостных чиллеров и тепловых насосов производительность должна изменяться в течение нескольких минут, а не секунд. Как правило, возрастающий рамп должен быть намного медленнее, чем нисходящий рамп — в компрессорах BITZER обычно это происходит вдвое медленнее. VARIPACK имеет, например, следующие заводские настройки:
 - Возрастающий рамп: 10s/50Hz
 - Нисходящий рамп: 5s/50Hz

Не все эти шаги необходимы для преобразователей частоты BITZER VARIPACK, поскольку они предварительно сконфигурированы и могут быть адаптированы к требованиям системы с помощью BEST SOFTWARE (см. Инструкцию по эксплуатации CB-110).

Вибрации



ВНИМАНИЕ

Опасность усталости материала и повреждения из-за вибраций в системе из-за скоростного привода FI!

Тщательно проверьте всю систему на всех возможных рабочих частотах на наличие вибраций и резонансов.

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.

В качестве альтернативы, большинство инверторов имеют возможность программировать диапазоны скоростей «гар» (диапазоны обхода частот): хотя компрессору будет разрешено проходить через диапазон вырезанных скоростей, ему не будет разрешено оставаться в этом диапазоне. Любые диапазоны частот, в которых обнаружены проблемы с вибрацией или шумом, могут быть «исключены» таким образом.

По дополнительным вопросам обращайтесь в BITZER.

7.2 Рекомендуемые последовательности запуска и останова



ОПАСНОСТЬ

Опасное для жизни напряжение внутри корпуса преобразователя частоты!
Прикосновение может привести к серьезным травмам или смерти.



Никогда не открывайте корпус FI во время работы! Выключите главный выключатель и заблокируйте его от повторного включения.

Подождите не менее 10 минут, пока не разрядятся все конденсаторы!
Перед повторным включением закройте корпус FI.



ОСТОРОЖНО

При работе радиатор преобразователя частоты нагревается.
Опасность ожога при контакте!



Перед выполнением работ на преобразователе частоты отключите электропитание и подождите не менее 15 минут, пока радиатор не остынет.



ВНИМАНИЕ

Опасность отказа компрессора!
Эксплуатируйте компрессор только в предусмотренном направлении вращения!

На следующих диаграммах показаны некоторые примеры последовательностей пуска и останова. Они обеспечивают плавный пуск, а также обеспечивают достаточную подачу масла для компрессора.

Во время работы изменение частоты должно происходить намного медленнее, чем при пуске и останове (см. стр. 78).

Кроме исключений, описанных ниже:



ВНИМАНИЕ

Повреждение компрессора и мотора!
Не комбинируйте преобразователь частоты с механическим регулированием производительности компрессора! Особенно при низкой скорости адекватное охлаждение мотора не гарантируется, поскольку массовый расход хладагента сильно снижается. Некоторые исключения для винтовых компрессоров возможны по согласованию с BITZER.

Модуль управляет механическими золотниками производительности и масляным электромагнитным клапаном, если компрессор работает с модулем CM-SW-01 и с преобразователем частоты.

Компрессоры CS.65 .. 95

Последовательность запуска:

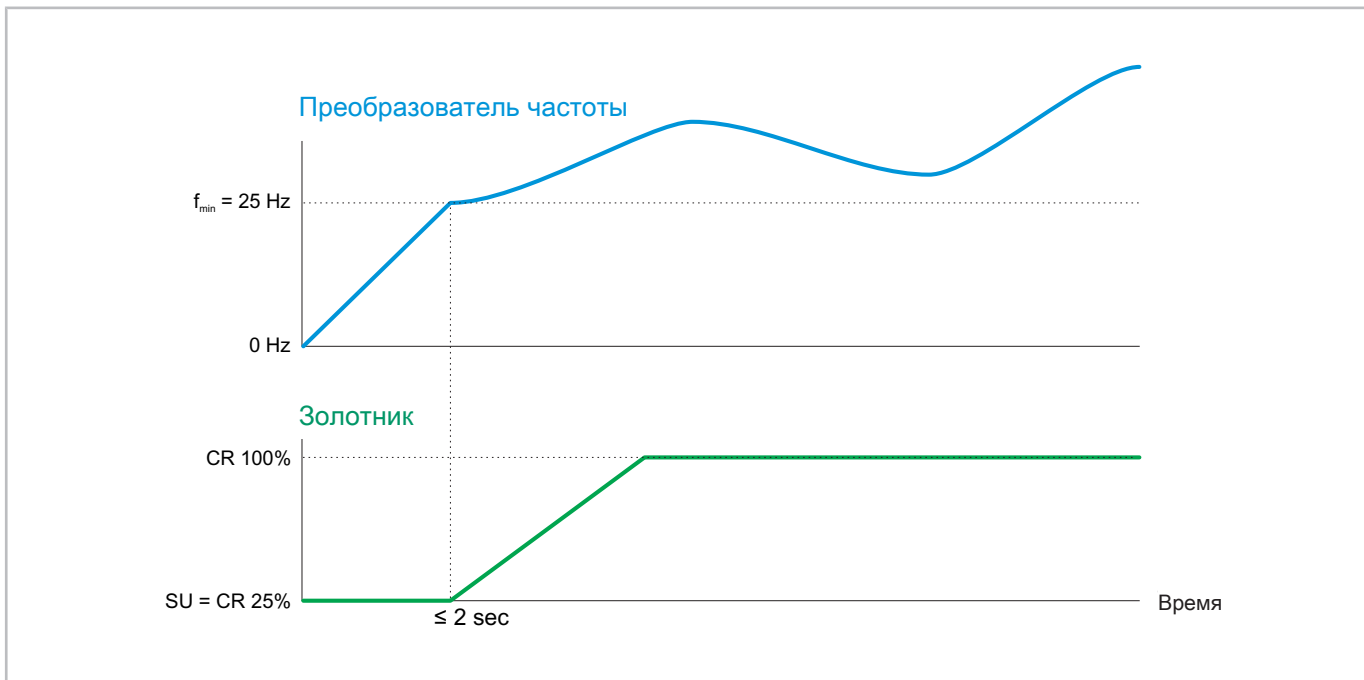
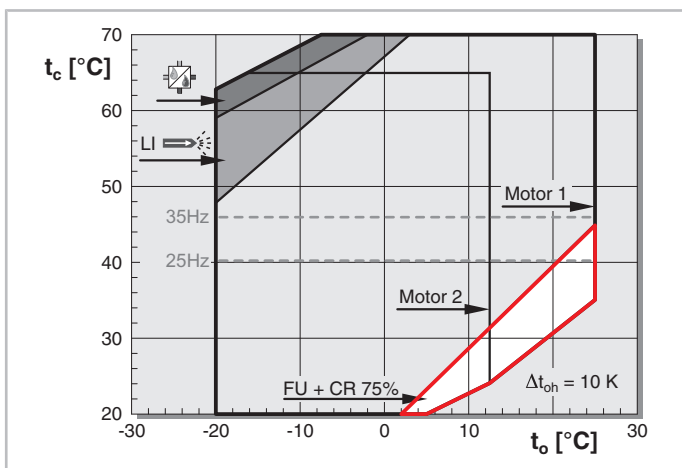


Рис. 18: Рекомендуемая последовательность пуска компрессоров CS.65 .. 95 с преобразователем частоты (FI). Запустите с разгруженным золотником CR, задействуйте FI на минимальной скорости 25 Hz на 2 сек. максимум, затем переключите электромагнитные клапаны CR до 100% (см. Инструкцию по эксплуатации [SB-170](#), для пуска/останова подается питание только на клапан CR3, CR4 может быть включен постоянно, а не прерывисто при работе FI). После этого компрессор должен достичь области применения в пределах 2 мин. максимум.

Для особых условий эксплуатации при высоких температурах испарения и конденсации преобразователь частоты можно комбинировать с CR 75%. На следующей диаграмме, показана область применения, это белая область в правом нижнем углу (области применения [см. также на рис. 6, стр. 66](#)):



Последовательность останова:

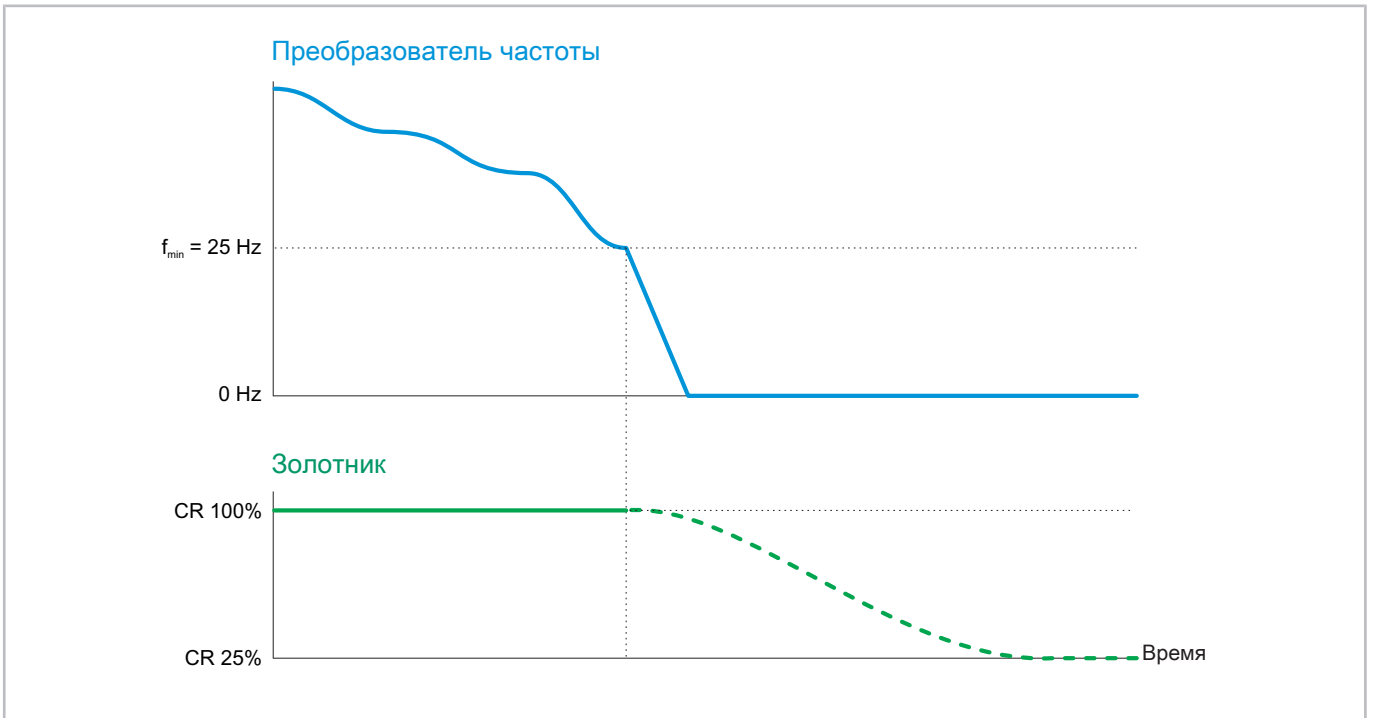


Рис. 19: Рекомендуемая последовательность останова компрессоров CS.65 .. 95 с преобразователем частоты (FI). После выключения FI золотник CR пассивно возвращается на 25% в течение прибл. 5 мин, клапан CR3 остается под напряжением (см. инструкцию по эксплуатации [SB-170](#)).

Компрессоры CS.105 и HS.95 с модулем CM-SW-01

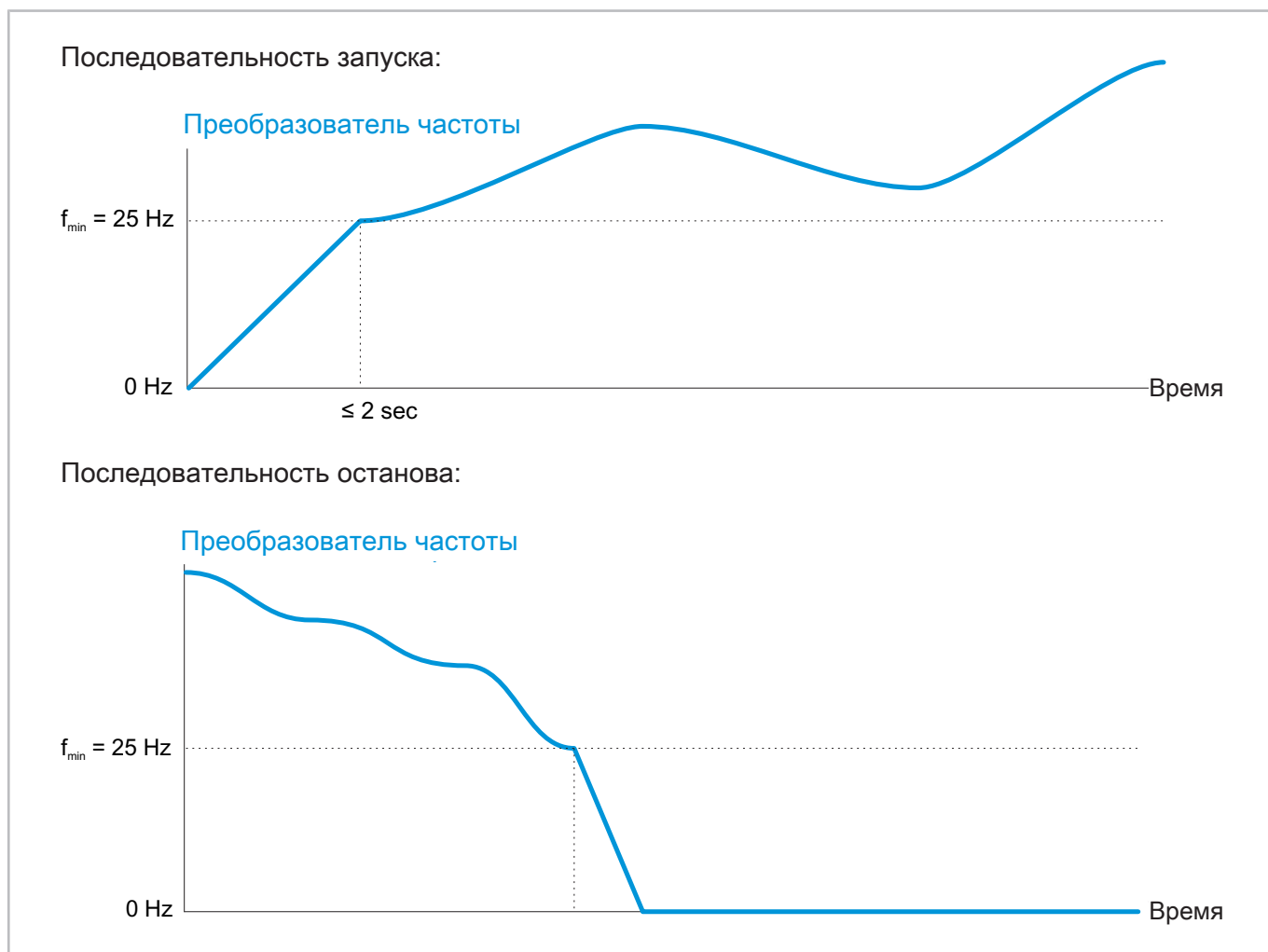


Рис. 20: Рекомендуемая последовательность пуска и останова компрессоров CS.105 и HS.95 с преобразователем частоты (FI) и модулем компрессора CMSW-01 в режиме «Преобразователь частоты». Модуль управляет подачей масла, а также электромагнитными клапанами CR для регулирования производительности (см. Инструкцию по эксплуатации [SB-170](#) для CS.105 и [SB-110](#) для HS.95).

Комбинация преобразователя частоты и золотникового регулирования производительности не разрешена для CS. и HS. компрессоров с CM-SW-01. После запуска компрессора золотники автоматически перемещаются в положение полной нагрузки, после остановки компрессора они активно не разгружаются. Это позволяет ускорить новый пуск, поскольку регулирование производительности с помощью преобразователя частоты можно запустить напрямую, без повышенного риска того, что компрессор вовремя не достигнет своей области применения.

Компрессоры HS.53..74 и OS.53..74

Последовательность запуска:

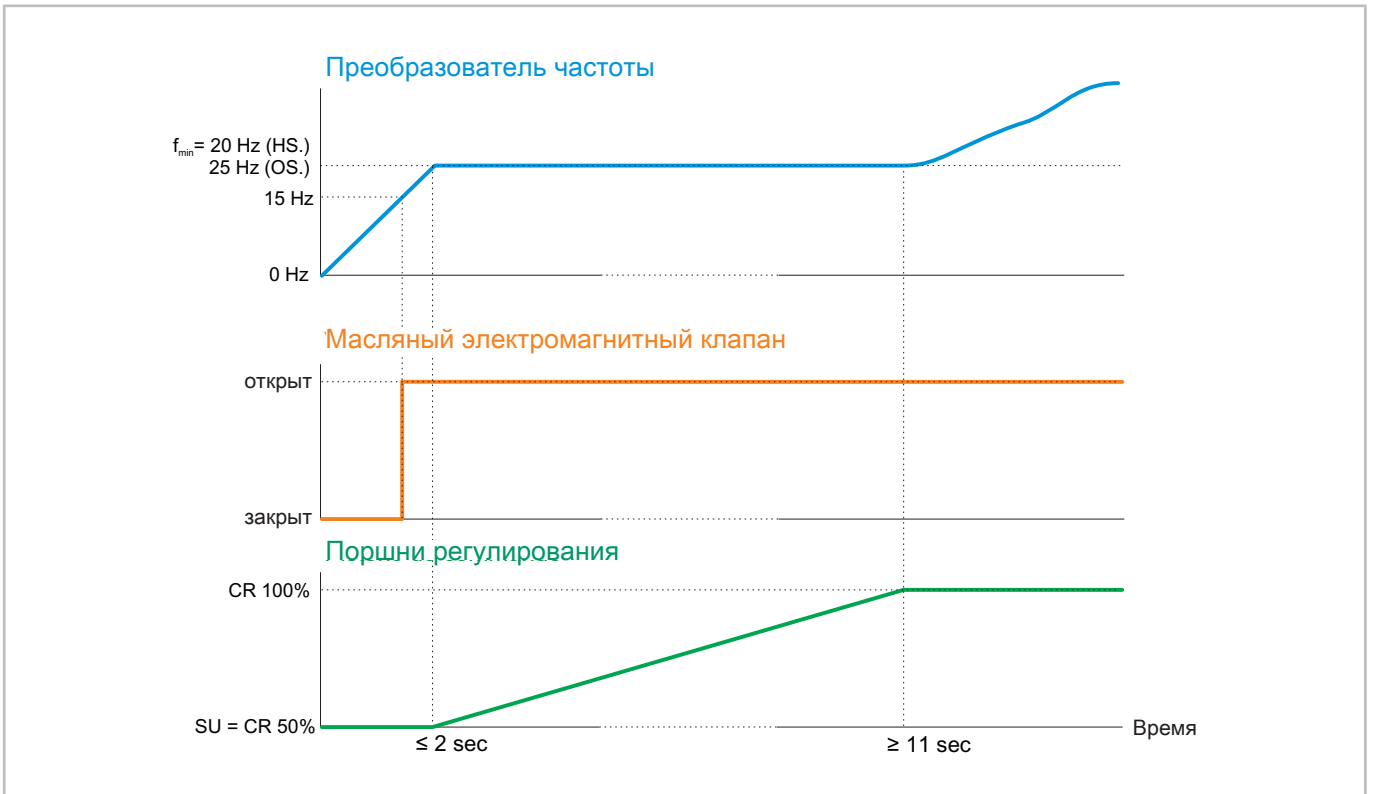


Рис. 21: Рекомендуемая последовательность пуска компрессоров OS.53 .. 74, HS.53 .. 74 с преобразователем частоты (FI). Запустите поршни регулирования с разгруженным пуском, откройте масляный электромагнитный клапан, как только FI достигнет частоты 15 Hz. На минимальных оборотах (20 Hz для HS., 25 Hz для OS.) переключите поршни регулирования до 100% (см. Инструкции по эксплуатации *SB -100* для ГС и *SB -500* для OS).

Последовательность останова:

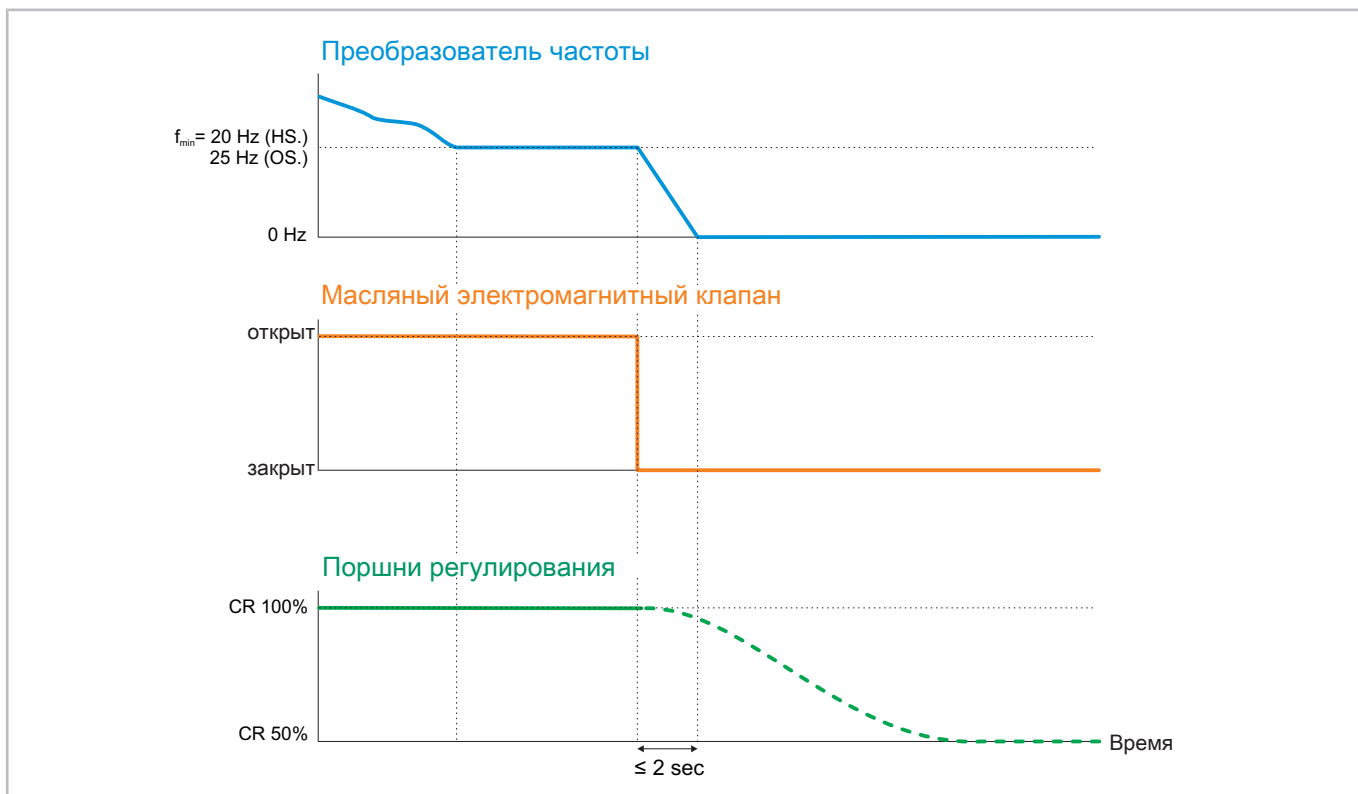


Рис. 22: Рекомендуемая последовательность останова компрессоров OS.53 .. 74, HS.53 .. 74 с преобразователем частоты (FI). После выключения FI поршни регулирования пассивно возвращаются назад до 50 %.

Компрессоры HS.85 и OS.85 (без модуля CM-SW-01)

Последовательность запуска:

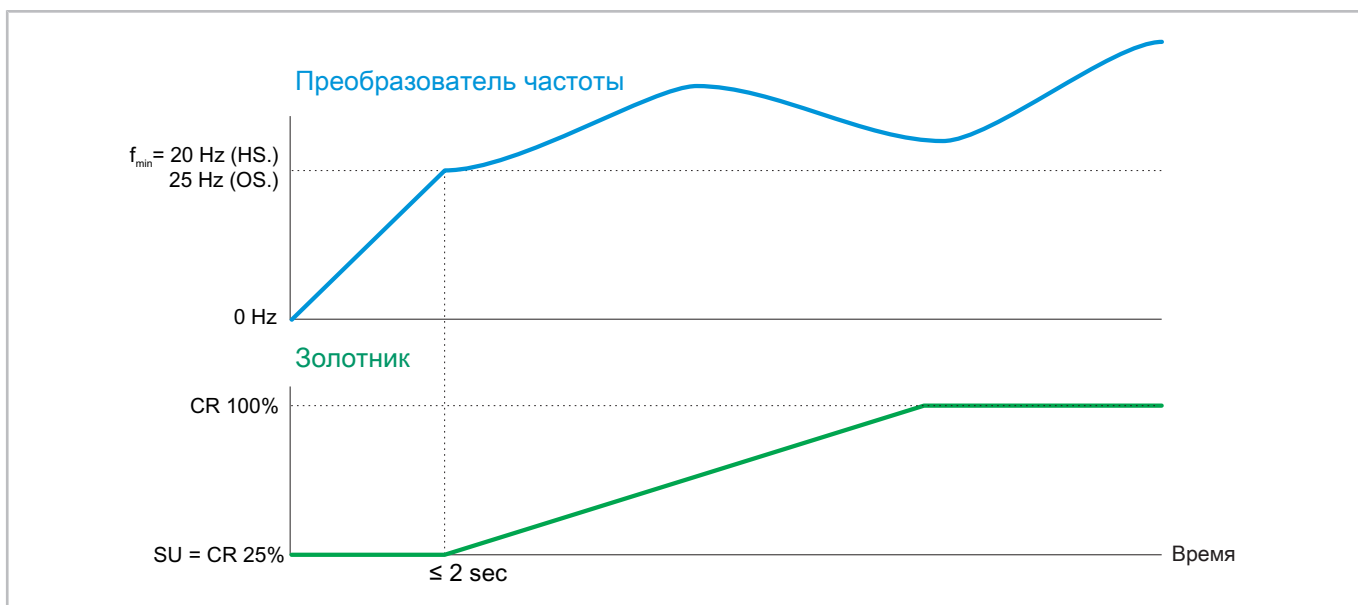


Рис. 23: Рекомендуемая последовательность пуска компрессоров HS.85 и OS.85 с преобразователем частоты (FI). Запустите с разгруженным золотником CR. Как только FI достигнет минимальной скорости (20 Hz для HS., 25 Hz для OS.), переключите электромагнитные клапаны на 100%, как описано в Инструкции по эксплуатации SB-110 соотв. SB-510 (CR4 или Y4 прерывисто). Поскольку компрессоры оборудованы встроенной системой управления маслом, нет необходимости в регулировании масляного электромагнитного клапана.

Последовательность останова:

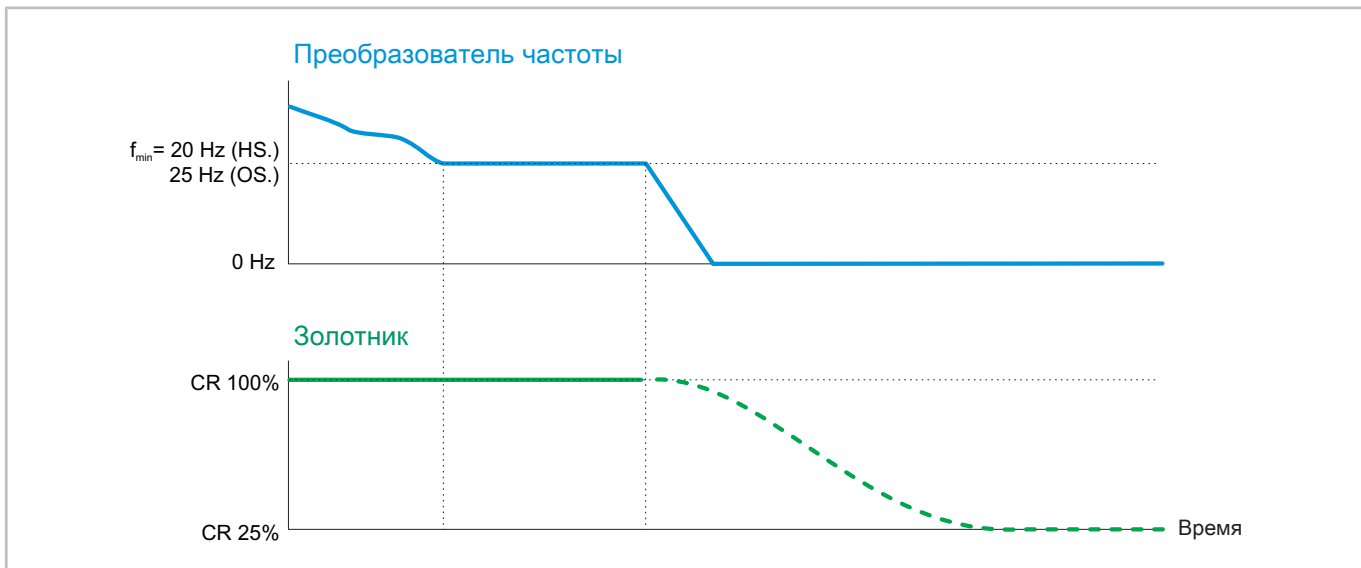


Рис. 24: Рекомендуемая последовательность останова компрессоров HS.85 и OS.85 с преобразователем частоты (FI). После выключения FI золотник CR пассивно возвращается до 25%.

Компрессоры OS.A85 и OS.95 с модулем CM-SW-01

В то время как встроенный мотор полугерметичных CS. и HS. компрессоров обеспечивает достаточный резерв для выхода на режим после пуска, это не обязательно относится к OS. компрессорам: здесь можно выбрать двигатель для конкретного применения, например, относительно небольшой можно использовать для низкотемпературных применений. В результате может потребоваться снижение нагрузки с помощью золотникового регулирования до тех пор, пока не будут достигнуты номинальные рабочие условия, чтобы не перегружать двигатель. Так как охлаждение двигателя с очень низким массовым расходом хладагента не является такой значимой проблемой для открытых компрессоров, как для CS. и HS. компрессоров, золотниковое регулирование производительности можно комбинировать с преобразователем частоты для выхода на режим после пуска. В этом случае минимальное положение золотника ограничено 50%.

Последовательность запуска:

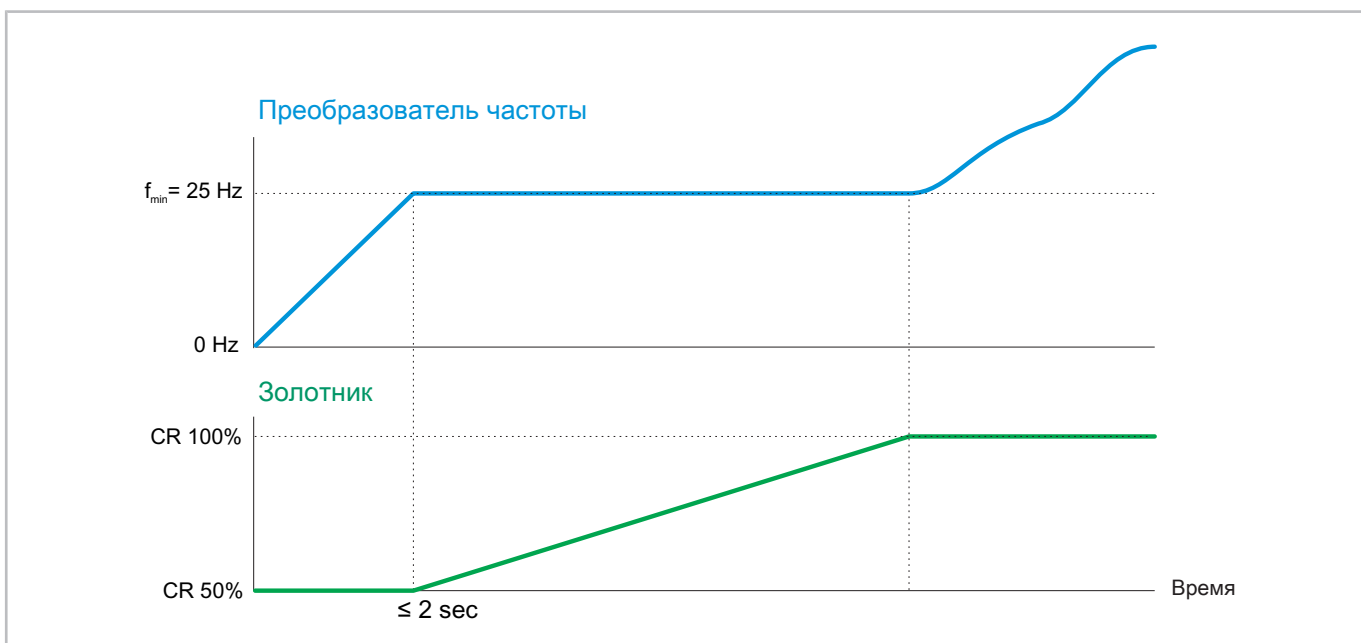


Рис. 25: Рекомендуемая последовательность пуска компрессоров OS.A85 и OS.95 с преобразователем частоты (FI) и модулем компрессора CM-SW-01. Модуль управляет подачей масла, а также электромагнитными клапанами CR для регулирования производительности (см. Инструкцию по эксплуатации SB-520). В режиме «Преобразователь частоты» модуль настроен так, что ставит золотник CR для разгрузки при пуске на мин. 50 % вместо 25 % (можно выбрать 50 .. 100 %).

Последовательность останова:

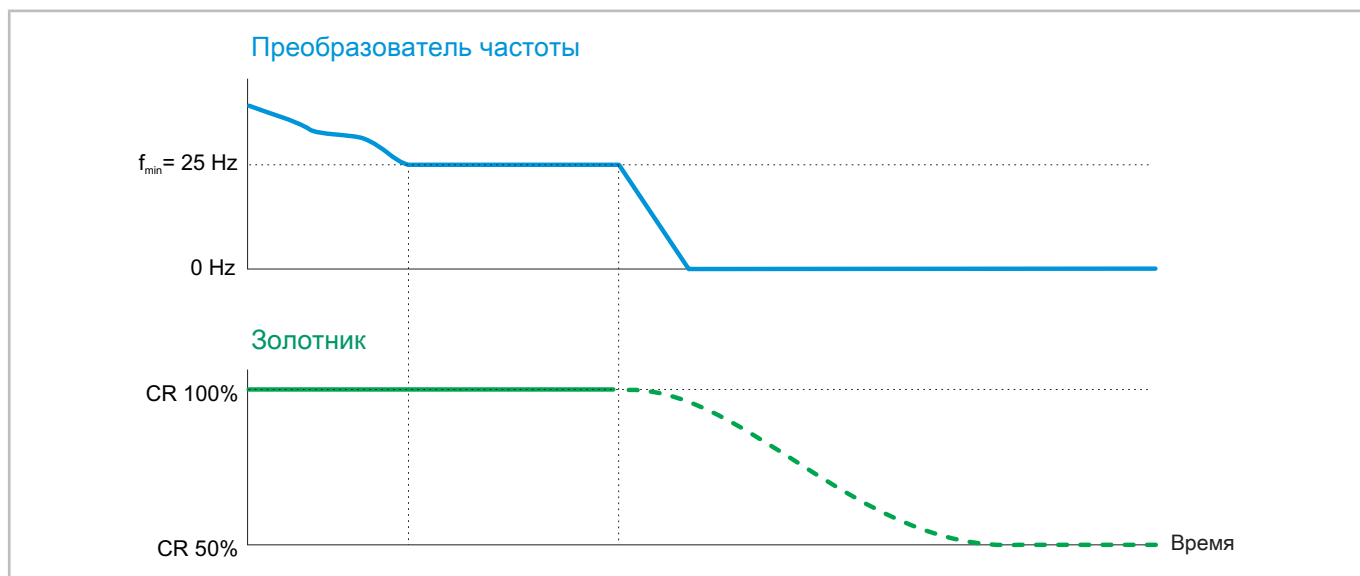


Рис. 26: Рекомендуемая последовательность останова компрессоров OS.A85 и OS.95 с преобразователем частоты (FI) и модулем компрессора CM-SW-01. Модуль управляет подачей масла, а также электромагнитными клапанами CR (см. Инструкцию по эксплуатации [SB-520](#)). В режиме «Преобразователь частоты» модуль настроен так, что ставит золотник CR для разгрузки при пуске на мин. 50 % вместо 25 % (можно выбрать 50 .. 100 %).

Последовательности пуска/останова при работе с экономайзером

В принципе, приведенные выше последовательности применимы и к работе с экономайзером, но при этом необходимо соблюдать измененные области применения (см. BITZER SOFTWARE)! Экономайзер можно задействовать, как только рабочие условия стабилизируются, и отключать одновременно с преобразователем частоты.

Запуск и останов в многокомпрессорных системах

- Если один компрессор работает с преобразователем частоты: Запустите компрессор, как описано выше, затем при необходимости запустите компрессор без преобразователя частоты, как обычно. Для останова сначала выключите компрессор без преобразователя частоты, затем остановите компрессор с преобразователем частоты, как описано выше.
- Многокомпрессорная система с преобразователем частоты на **каждом** компрессоре: Используйте последовательности пуска и останова, как описано выше. Компрессоры запускаются один за другим, в зависимости от управления многокомпрессорной системой.

7.3 Частота циклов и минимальное время работы

В отличие от прямого пуска, пуск с помощью преобразователя частоты не приводит к увеличению тепловой нагрузки на мотор. Это позволяет увеличить количество пусков компрессора: возможно **до 12 запусков в час**, независимо от компрессора или мотора. (При других режимах пуска возможно максимум 4 .. 8 пусков в час, см. инструкцию по эксплуатации).

Минимальное время работы компрессоров должно составлять **5 мин**, это не зависит от режима пуска. Возможны одиночные более короткие рабочие циклы, но следует избегать работы с повторяющимися более короткими рабочими циклами, чтобы предотвратить нехватку масла в компрессоре.

При работе с преобразователем частоты золотник регулирования производительности не нужно полностью разгружать перед следующим пуском. Следовательно, минимальное время останова также может быть значительно короче. Однако необходимо, по крайней мере, убедиться, что компрессор полностью остановился и отсутствует обратное вращение.