



Частотное регулирование от А до Я

Управление электродвигателем на основе изменения частоты напряжения питания расширило возможности для повышения производительности и энергоэффективности. В России и странах СНГ приводную технику можно встретить в разных отраслях: например, решения на основе преобразователей частоты всё чаще реализуют в энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве. Наиболее распространены применения с насосами, вентиляторами, компрессорами.

Управление производительностью

Изначально у преобразователя частоты была задача повысить эффективность асинхронного электродвигателя. Классическая модель представляет собой систему плавного изменения частоты вращения и крутящего момента привода. Процесс построен на зависимости скорости вращения магнитного поля от частоты переменного питающего напряжения.

Наибольшее распространение получили электронные преобразователи. В основе конструкции силовая часть на полупроводниках (транзисторах или тиристорах) и схема управления на базе микроконтроллера.

Скалярный принцип регулирования преобразователем обеспечивает напряжение определённой частоты и амплитуды. Это востребовано в применениях с изменением скорости вращения ротора в зависимости от нагрузки. Нижний предел в 10% от номинала и управление несколькими двигателями максимально

увеличивает эффективность эксплуатации насосов и вентиляторов.

Векторный режим даёт на выходе постоянную частоту вращения ротора вне зависимости от нагрузки. В результате достигается позиционирование точного положения вала и поддержание частоты вращения, регулирование момента при низких скоростях и пуск двигателя с номинальным моментом. Такие решения востребованы там, где необходимы безотказность и производительность.

Пуск и настройка преобразователя частоты возможны с панели оператора устройства или через персональный компьютер. Наличие русскоязычного интерфейса удобно для эксплуатирующего персонала. Подключение по дискретным входам и «сухим» контактам делает частотный преобразователь исполнительным механизмом внешней системы управления. Ряд моделей можно запрограммировать по событиям для автоматизированных процессов.



Автор: Павел ФЕДОТОВ, менеджер по работе с ключевыми клиентами компании ООО «Данфосс»



∴ Линейка преобразователей частоты производства концерна Danfoss

От простого к сложному

Эра массового применения преобразователей частоты началась в 1968 году, когда концерн Danfoss первым в мире приступил к серийному производству приводной техники — это была модель VLT 5. С тех пор конструкторы компании добились многого: сегодня в линейке десятки универсальных, профессиональных и специализированных серий низковольтных и высоковольтных преобразователей частоты и тысячи вариантов исполнения. За прошедшие полвека выпущено порядка 25 млн устройств.

Возможности приводной техники разнообразны. Модели представлены в диапазоне мощностей от 0,18 кВт до нескольких мегаватт с широким спектром номиналов и напряжений. Частотные преобразователи совместимы со всеми типами электродвигателей и источниками питания. Функционал позволяет иметь непосредственную связь с питающей сетью и промежуточное звено постоянного тока, возможно подключение трёхфазного двигателя в однофазную сеть. В большинстве моделей настройка конфигурации происходит автоматически.

Удобство модульной платформы — в гибком подборе необходимых силовых опций в зависимости от применения. К примеру, DC/DC-преобразователь спо-

обен повысить напряжение для потребностей привода. Выпрямитель на IGBT-транзисторах производит рекуперацию энергии в сеть. Сетевой преобразователь из постоянного тока создаёт сеть переменного тока.

На российском рынке под разными брендами представлено множество частотных преобразователей, различных по

конструкции, принципу действия, способу управления. Среди производителей такие марки как Schneider Electric, ABB, Siemens, Hyundai, Toshiba, Hitachi, «Веспер» и др. Специально для отечественного рынка Danfoss разрабатывает и производит в Российской Федерации ряд наиболее востребованных моделей. В программе развития концерна — дальнейшее расширение мощностей в Подмоскowie.

Сегодня в линейке Danfoss имеются десятки универсальных, профессиональных и специализированных серий низковольтных и высоковольтных преобразователей частоты и тысячи вариантов исполнения



Выбираем модель

На первый взгляд, подобрать частотный преобразователь для конкретного применения достаточно сложно: у каждого производителя своя классификация и особые конструкторские решения. Однако на практике всё решают несколько основных моментов.

Первое, что влияет на выбор частотного преобразователя, — сфера применения. Все преобразователи частоты осуществляют плавное регулирование скорости и снижение пусковых токов. При этом общепромышленные модели имеют унифицированные возможности — в зависимости от научно-технического потенциала производителя, а для решения конкретных инженерных задач разрабатывают специализированный функционал.

Как в жилищно-коммунальной сфере, так и в энергетике специализированные устройства управляют насосами в тепловых пунктах и котельных, на объектах водоснабжения. Уникальные алгоритмы отвечают за автоматизацию работы приводов в вентиляционных установках и функционирование компрессоров в холодильоснабжении. Есть решения для противопожарных систем в зданиях и оптимизации лифтов.

Для удобства потребителей компания Danfoss называет серии преобразователей частоты согласно их предназначению, например, VLT HVAC Drive, AQUA Drive, Lift Drive, Micro Drive или VACON 100 FLOW.

Серии Danfoss Drives для систем ОВиК

1. VLT HVAC Drive FC-102 — для систем отопления, вентиляции, охлаждения.
2. VLT HVAC Basic Drive FC-101 — базовая версия модели FC-102.
3. VACON 100 FLOW и VLT AQUA Drive FC-202 — для насосных применений, систем водоподготовки и водоочистки.
4. VLT Micro Drive FC-51 — для общей автоматизации оборудования, насосных и вентиляционных применений.
5. VEDADRIVE — для систем водоснабжения и для применения в энергетике.
6. VACON NXP и VLT AutomationDrive FC-302 — для общей автоматизации, высокодинамичных применений, подъёмно-транспортных механизмов.

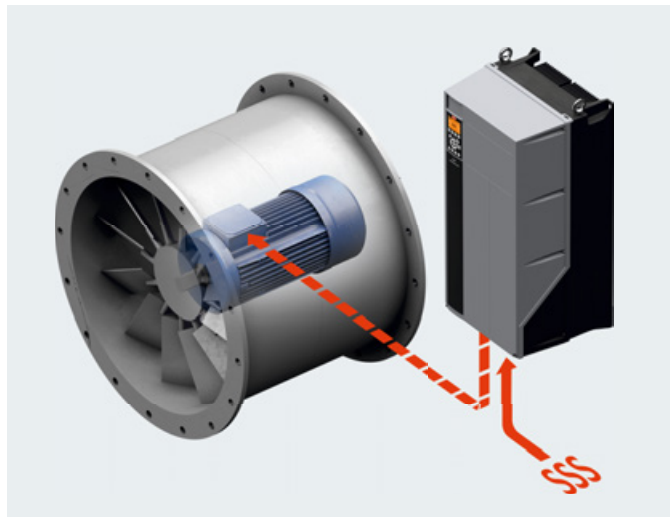
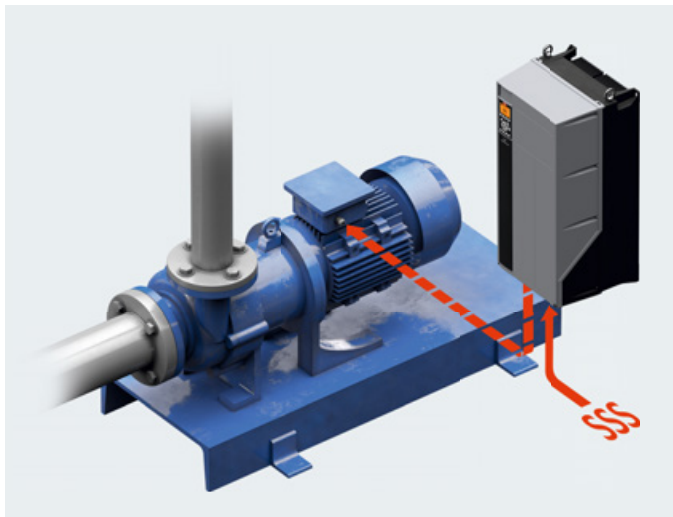
Второй момент — определение подходящей под проект модели и её типоразмера. Здесь необходимо соблюдать правило двух неравенств: номинальный ток устройства всегда превышает номинал двигателя, и максимальный ток также должен быть больше.

Соотношение максимального и номинального момента может составлять от 110 до 250 %.

При подборе частотных преобразователей учитывают напряжение питающей сети и тип двигателя, выбирают дополнительные опции. Например, для интеграции в системы BMS или программно-аппаратные комплексы SCADA предусматривают сетевые интерфейсы

Функционал для систем ОВиК

Функционал частотных приводов, используемых в HVAC-отрасли, оптимален именно для автоматизации управления систем отопления, вентиляции и кондиционирования. Целевые назначения: фанкойлы, приточные и вытяжные вентиляторы, воздушные и холодильные компрессоры, чиллеры. Встроенная функция пропорционально-интегрально-диффе-



•• Управление энергетическим оборудованием посредством преобразователей частоты обеспечивает множество преимуществ сразу

Следует помнить, что под максимальным током преобразователя частоты подразумевается перегрузочный ток, который он обеспечивает в течение одной минуты. Максимальный ток двигателя зависит от момента при запуске и напрямую связан с типом применения.

Практика показывает, что для насосных и вентиляторных решений достаточно перегрузки 110%, а для автоматизации — 150–160%. Когда возникает потребность увеличить это значение, просто выбирают частотный преобразователь большего типоразмера.

При подборе учитывают напряжение питающей сети и тип двигателя, выбирают дополнительные опции. В частности, для интеграции в системы управления автоматикой здания (BMS) или программно-аппаратные комплексы сбора данных и диспетчерского контроля (SCADA) предусматривают сетевые интерфейсы.

Характеристики преобразователя частоты и степень необходимой защиты корпуса должны соответствовать условиям эксплуатации: температуре окружающей среды, уровню влажности, высоте над уровнем моря и сейсмичности района. Важен и способ монтажа — на стену, настенное исполнение или в шкафу.

Для быстрого подбора оборудования ряд производителей предлагает онлайн-сервис, такой как конфигуратор Danfoss.

В специальное приложение достаточно ввести исходные данные, чтобы получить оптимальную конфигурацию преобразователя частоты под конкретное применение и условия по приобретению выбранного оборудования.

ренцирующего (ПИД) регулирования изменяет производительность системы в зависимости от текущего перепада.

Одна из новинок сегмента — интегрированный преобразователь давления воздуха, который способен контролировать сразу четыре зоны перепада давлений. Оригинальное решение упрощает рабочую схему, не требует применения датчиков на вентиляторах и фильтрах. Дискретные выходы и протоколы связи обеспечивают передачу данных в комплексы BMS и SCADA.

Лучшие модели имеют встроенный контроль загрязнения фильтров и обрыва ремня, пожарный режим, температурный диапазон эксплуатации от -25 до +50°C. Цифровые решения позволяют настраивать через смартфон или планшет работу как частотного преобразователя, так электродвигателя. Отличия специализированных устройств типа AQUA и FLOW заключаются во встроенных функциях для насосных агрегатов. Сюда входят регулирование расхода и управление обратным клапаном, компенсация потерь давления в трубопроводе.

«Спящий режим» производит автоматическое отключение насоса при низком водоразборе и включение при его повышении. Как известно, на насосных агрегатах плохо сказываются низкие обороты, и лучше не переходить порог в 20–25%.



•• Преобразователь VLT AutomationDrive

«Контроль утечек» реализован на контроле давления, а «компенсация расхода» на принципе уменьшения гидравлического сопротивления в системе со снижением расхода. Безотказную работу оборудования гарантирует защита от «сухого хода».

Встроенный каскадный контроллер необходим при эксплуатации насосной группы: он регулирует скорость одного агрегата, затем по необходимости происходит подключение следующих. Более эффективен режим «ведущий/ведомый» (master/slave), когда преобразователь частоты управляет всей группой. В этом случае насосы синхронизированы между собой и имеют одну скорость.

Регулирование насосов по сигналу обратной связи в больших диапазонах обеспечивает ПИД-регулятор. Наличие в устройстве постоянного и переменного момента позволяет управлять любыми насосными агрегатами: центробежными, осевыми, поршневыми, плунжерными.

Для насосов с невысокой степенью автоматизации и регулирования вентиляторов и бытовых дымососов административных и производственных помещений производители предлагают упрощённые модели. К примеру, преобразователи частоты типа HVAC Basic Drive и Micro Drive оснащены минимально необходимым защитным функционалом при полном наборе регулирующих опций.

Преимущества регулирования

Асинхронные электродвигатели применяются повсеместно. Однако их эффективность снижают отсутствие регулирования скорости и ударные нагрузки на механизмы. Пусковые токи достигают шести- и восьмикратного значения от номинала. Исправить недостатки и повлиять на производительность позволяет частотное регулирование. Чаще всего насосы, вентиляторы и компрессоры не работают на полную проектную мощность. Частотный преобразователь с высокой точностью подстраивает скорость привода под требуемую в данный момент нагрузку: напор и расход легко контролировать за счёт регулирования частоты и момента.

Пусковой ток привода значительно ниже, чем у двигателя с прямым пуском или пуском по схеме «звезда — треугольник». Плавный пуск снижает пусковые токи и нагрузку на сеть, обеспечивая корректную работу запорной арматуры и других устройств.

Среди основных преимуществ силовой электроники перед механическими средствами — автоматизация и интеграция в систему диспетчеризации верхнего уровня. В Danfoss разработаны «облач-

ные» сервисы, которые позволяют вести через Интернет дистанционный мониторинг и управление, использовать архивные данные для анализа и последующей оптимизации.

Регулировка скорости вращения момента на валу увеличивает межремонтный интервал и продлевает срок службы двигателей. Сам же электронный преобразователь частоты не имеет движущихся частей и не требует такого техобслуживания как редукторы или дросселирующие задвижки.



:: Преобразователь серии VLT HVAC Drive

мониками разработаны передовые решения — системы активного и пассивного подавления.

Правительство РФ запланировало ввод новых регламентов по энергоэффективности в 2021–2025 годах, согласно которым будет необходимо переходить на двигатели класса IE3. Миллионы асинхронных приводов старого поколения заменить нереально, поэтому нужна альтернатива, и самое экономически целесообразное решение — применение систем с частотно-регулируемыми приводами.



:: Преобразователь серии VLT AQUA Drive

Частотный преобразователь, кроме того, способен защитить электропривод от аварий и аномальных режимов работы. Среди функций — контроль перегрузок и коротких замыканий, пропадания фаз. Предусмотрена возможность перезапуска при возобновлении подачи электроэнергии после её отключения. Специальные функции управления насосами и компрессорами также обеспечивают удобную и безопасную эксплуатацию.

Нюанс применения силовой электроники — возникновение гармонических помех в питающей сети, но современные технологии практически полностью нивелируют эти негативные влияния. В частности, в Danfoss для борьбы с гар-

Потенциал энергосбережения

Потребляемая мощность имеет кубическую зависимость от скорости вращения для центробежных машин. Например, снижение частоты вращения на 20% сокращает энергопотребление в два раза. Для стандартных применений экономия составляет от 30 до 70%. Однако это не предел. Конструктивные особенности преобразователя частоты способны увеличить этот потенциал. Например, функция «автоматическая оптимизация энергопотребления» снижает реактивную составляющую тока при недогрузке двигателя. На устройствах до 10 кВт она добавляет до 10% экономии электроэнергии.

Режим «автоматическая адаптация к двигателю» не только обеспечивает «подхват на лету» и возврат кинетической энергии, но и вносит вклад в сбережение энергии. Небольшие проценты дают векторное управление с экономией при пусках и переходных процессах и современные фильтры гармоник. Если система охлаждения выводит до 90% тепла, то нет потребности в дополнительных устройствах со своим энергопотреблением.

Конструктивные особенности преобразователя частоты способны увеличить потенциал энергосбережения. Например, функция «автоматическая оптимизация энергопотребления» снижает реактивную составляющую тока при недогрузке

Насосные функции «спящий режим», «контроль утечек», «компенсация расхода», «ведущий/ведомый», встроенный каскадный контроллер, а также специальные вентиляторные и компрессорные алгоритмы также способствуют энергосбережению. Если всё перечисленное подсчитать и сложить, то получим реальную картину энергоэффективности.

Считаем экономию

Рассмотрим эффективность применения частотного регулирования на простом примере. В жилом доме насос мощностью 20 кВт обеспечивает расчётную подачу воды на номинальной скорости только в «часы пик» — утром и вечером.

Внедрение частотного регулирования по своей сути — инвестиционный проект. Технико-экономическое обоснование учитывает гораздо больше составляющих, чем просто объём энергопотребления

В остальное время водоразбор значительно меньше. Установим в схему преобразователь частоты. Примем для наглядности, что скорость в результате регулирования составит 80% от номинала. В этом случае потребляемая мощность сократится в два раза. Экономия за сутки — 117 кВт·ч, за год — 42,7 тыс. кВт·ч только на одном насосе.

На практике при системном подходе с созданием каскадных насосных групп, регулировании по датчикам, настройке «ночных» и других режимов результат ещё выше. В итоге реальное потребление может составить не более 30% по сравнению с работающим напрямую от сети насосом. Аналогичный результат мы получим и в системе вентиляции, где также присутствуют пиковые и минимальные нагрузки.

Внедрение частотного регулирования по своей сути — инвестиционный проект. Технико-экономическое обоснование учитывает гораздо больше составляющих, чем просто объём энергопотребления. Большинство партнёров Danfoss имеют компетенции проводить обследования и делать расчёт ТЭО внедрения с представлением полного отчёта. Как показывает практика инженеринговых компаний, большинство решений в ОВиК окупается за один-два года. Для получения экспресс-анализа инвестиционной привлекательности частотного регулирования в концерне Danfoss создано специальное

мобильное приложение. Минимум исходных данных позволяет узнать доходность, дисконтируемый срок окупаемости и другие финансовые показатели. С такими расчётами главный энергетик предприятия может защищать выгодность проекта внедрения преобразователей частоты в своей финансовой службе.

Истории применений

Лучше всего эффективность преобразователей частоты доказывают конкретные примеры применения. На основе силовой электроники в России и странах СНГ реализованы тысячи и тысячи проектов, в том числе и в системах ОВиК. Ниже приведены лишь некоторые из конкретных объектов.

Вентиляция инфекционного центра

За два месяца весны 2020 года был спроектирован и построен Московский клинический центр инфекционных болезней «Вороновское» на 800 пациентов. Холдинг «Русклимат» за это время разработал и внедрил комплексную систему очистки воздуха в соответствии с нормативами СанПиН и СНиП. Система вентиляции была сертифицирована Роспотребнадзором в качестве медицинского оборудования.

На объекте установлено около 1100 вытяжных и приточных установок. Организовано зонирование воздушных потоков для исключения перетекания между помещениями. Для автоматизации контроля расчётных температур, влажности и микробиологических параметров применено частотное регулирование.

Управление вентустановками, центральными кондиционерами Ballu и Shuft, компрессорно-конденсаторными блоками

Electrolux осуществляют преобразователи частоты. В проекте задействовано несколько тысяч устройств VLT Micro Drive FC-51 мощностью 0,75–5,5 кВт, а также VLT HVAC Basic Drive FC-101.

Функционал частотного регулирования обеспечил соблюдение требований по инфекционной безопасности в воздушной среде помещений всех типов вплоть до «чистых» зон. Также было выполнено обязательное условие — переход на регулирование резервных приводов в случае необходимости.

Автоматизация в тепловых сетях

АО «Уральская теплосетевая компания» (УТСК) провела реконструкцию перекачивающей насосной станции (ПНС) №4 в Челябинске в рамках создания кольцевой схемы теплоснабжения. Насосы производительностью по 1500 м³/ч каждый оснастили VLT AQUA Drive FC-202 мощностью по 355 кВт. Функционал преобразователей частоты автоматизировал управление техпроцессами и обеспечил диспетчеризацию. Частотное регулирование позволило быстро реагировать на изменения давления в тепловой сети, в том числе при разрывах трубопроводов. Оборудование предотвращает появление гидравлических ударов при пусках-остановах насосных агрегатов. По оценкам УТСК, произошло снижение уровня аварийности и значительное сокращение потерь теплоносителя и воды. В частности, электропотребление насосной станции сократилось на треть.

Алгоритмы для климат-систем

Многоуровневая система поддержания микроклимата создана в природно-ландшафтном парке «Зарядье» в Москве. Для автоматизации приточной вентиляции и холодоснабжения проектировщики применили функционал VACON 100 FLOW. Частотные преобразователи управляют работой насосных групп, отвечающих за перекачивание теплоносителя.

В климатических системах киноконцертного зала, медиацентра, гастрономического комплекса, парковки и других объектов установлено 320 устройств мощностью от 0,75 до 55 кВт. Функционал обеспечивает дистанционный контроль, увеличивает моторесурс и на треть сокращает энергопотребление.

Специально разработанные алгоритмы регулирования расхода в установках с несколькими насосами и встроенные прикладные программы подходят для различных условий эксплуатации. Оборудование устойчиво к воздействию пыли и влаги за счёт исполнения IP54.



:: Преобразователь серии VLT Micro Drive

Решение задач системы пожаротушения

В московском аэропорте «Внуково» в шкафу управления пожарными насосами одного из объектов возникла проблема: при включении резервного питания от дизель-генератора происходила перегрузка и отключение. Компания «Пожарная автоматика» нашла решение и заменила штатные устройства плавного пуска на два преобразователя частоты VLT HVAC Drive FC-102 мощностью 200 кВт каждый.

Данная серия соответствует нормам «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» и требованиям СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности». Сертификат соответствия от Singapore Green Building Products рекомендует оборудование для применения в аэропортах и гражданском строительстве. Эта линейка производится в России, что даёт возможность устанавливать её на спецобъектах.

Используя функционал частотного преобразователя, инженеры Danfoss создали готовое изделие — унифицированный пожарный шкаф. Оборудование автоматизирует работу вентиляторов и противодымных клапанов с электроприводами. Предусмотрена совмещённая эксплуатация общеобменной и противодымной вентиляции: переключение происходит по сигналам от восьми пожарных зон. Устройство контролирует температуру воздуха в электронагревателе для его подачи в безопасные зоны. Специальный «пожарный режим» обеспечивает работу до полного разрушения конструкции.

Плавный пуск насосов в котельной

В районной котельной города Алматы (Республика Казахстан) реализован проект модернизации оборудования и повышения надёжности теплоснабжения. Компания «Силумин-Восток» применила решение на базе высоковольтного преобразователя частоты VEDADRIVE.

В результате были исключены гидравлические удары в системе и просадки напряжения в момент пуска. Частное регулирование поддерживает давление и расход в сетевом коллекторе за счёт контроля производительности одного из насосов группы. Ежегодный потенциал энергосбережения превышает 736 тыс. кВт·ч.

Схема коммутации: одно устройство управляет пятью электродвигателями в каскадном режиме с синхронным переходом на сеть. После достижения максимальных оборотов первого насосного агрегата происходит плавное безударное



:: Преобразователь серии VACON NXP

переключение питания от частотного преобразователя на прямое включение от сети. Запуск последующих приводов происходит по аналогичному алгоритму. Для ограничения токов переходных процессов использован реактор. Данное решение легко применить на подобных объектах теплоснабжения и насосных станциях.

Автоматизация насосной группы в ЦТП

При реконструкции центрального теплового пункта 43-го квартала в городе Якутске было применено частотное регулирование. Проектная группа ОАО «Нерюнгриэнергоремонт», а также компания «ТЭТ-РС» разработали проект насосной станции, в котором управление тремя насосами осуществляют преобразователи частоты VLT Micro Drive FC-51 мощностью 18,5 кВт.

Система с частотно-регулируемыми приводами функционирует в автоматическом режиме без постоянного присутствия обслуживающего персонала.



:: Преобразователь VLT Refrigeration Drive

В службе эксплуатации отметили значительный экономический эффект за счёт экономии электроэнергии и увеличения срока службы оборудования.

Управление «летними» сетевыми насосами

В городе Бердск Новосибирской области реализован проект автоматизации работы сетевых насосов в летнее время для нужд горячего водоснабжения в котельной «Новая». ООО «СИТЭК» предложила параллельную установку сетевых насосов с частотным регулированием на функционале VACON NXS. За поддержание заданного давления в трубопроводе отвечает датчик MBS 1700. Шкаф коммутации — на 400 кВт. Благодаря каналу связи и датчику преобразователя давления в системе организована поддержка постоянного перепада и расхода. Среди встроенных опций ПИД-регулятор и CiR для один-пять насосов. Процесс управления насосной группой полностью автоматизирован.

Регулирование систем холодоснабжения

Инжиниринговая компания «Лэнд» создала систему холодоснабжения супермаркета «О'Кей» в городе Зеленограде. Один специализированный преобразователь частоты VLT Refrigeration Drive FC-103 контролирует работу основных элементов — компрессоров, конденсаторов, испарителей. Автоматическое регулирование обеспечивает поддержание заданных температур в торговом зале и способствует сохранению свежести продуктов. Среднегодовое снижение энергопотребления достигает 15–20%.

Изменения частоты вращения электродвигателя компрессоров поддерживает необходимое давление в системе. Регулирование производительности вентиляторов конденсаторов происходит в зависимости от температуры окружающей среды. Устройство снабжено встроенным интерфейсом ADAP Kool для удалённого мониторинга и управления контроллерами холодильной машины.

Научный потенциал и гибкая производственная база позволяют ведущим производителям преобразователей частоты удовлетворить практически любой спрос потребителей. В частности, Danfoss предлагает комплексность в решении задач, инновационный подход и нередко нестандартный взгляд на традиционные методы. В результате всегда гарантирован рост производительности, снижение энергопотребления и повышение надёжности инженерных систем разной степени сложности. ●