



# Инверторная технология



---

ОСНОВНАЯ  
ИНФОРМАЦИЯ

## ЧТО ТАКОЕ “ИНВЕРТОР” ?

ИНВЕРТОР ЯВЛЯЕТСЯ ЭЛЕКТРОННЫМ УСТРОЙСТВОМ, КОТОРОЕ НЕПРЕРЫВНО ИЗМЕНЯЕТ ЧАСТОТУ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.

Постоянное изменение частоты, в свою очередь, постоянно меняет частоту оборотов двигателя в соответствии со следующим уравнением (относится к двигателям со стандартной частотой 50 Гц):

$$\text{УРАВНЕНИЕ 1} \quad \text{RPM} = \frac{\text{Hz} \times 120}{n^{\circ} \text{ poles of the motor}} = \frac{50 \times 120}{n^{\circ} \text{ poles of the motor}}$$

Уравнение (1) показывает, что частота оборотов двигателя зависит от частоты источника питания (Гц) и количества полюсов. Например:

- Питание двигателя переменным током (AC) с частотой 50 Гц и двумя полюсами дает частоту оборотов (без нагрузки) 3000 об/мин
- Двигатель с шестью полюсами (три пары полюсов) вращается (в стабильном состоянии) с частотой 1000 об/мин.

Непрерывная модуляция частоты оборотов двигателя регулирует мощность, создаваемую электрическим компонентом, и регулирует мощность в соответствии с потребностями прибора в каждый момент времени.

Согласно закону подобия, относящемуся к работе вращающихся машин, мощность пропорциональна количеству оборотов в кубе, как указано в уравнении (2):

$$\text{УРАВНЕНИЕ 2} \quad \text{Мощность} \propto \text{ЭБ/МИН}^3$$

Модуляция мощности в соответствии с потребностями прибора оптимизирует энергоэффективность, обеспечивая значительную экономию энергии; это снижает затраты на управление и минимизирует воздействие на окружающую среду.

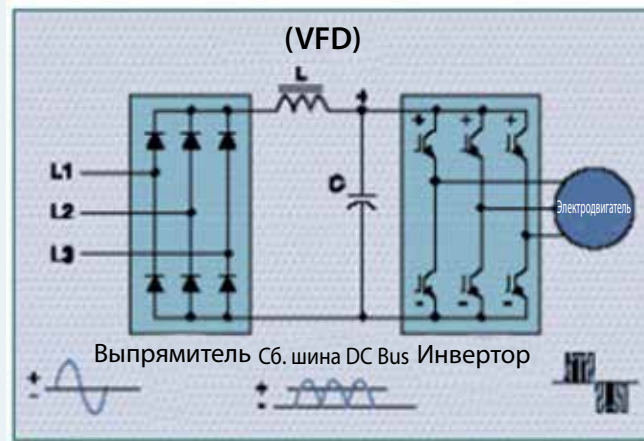
Каждый инвертор состоит из трех секций (Рис. 1):

- а) ВЫПРЯМИТЕЛЬ преобразует переменный ток (AC) в постоянный ток (DC)
- б) ШИНА ПОСТОЯННОГО ТОКА действует как временный накопитель энергии
- в) ИНВЕРТОР генерирует ‘новый’ переменный ток (AC) с частотой, удовлетворяющей требованиям прибора.

ВЫПРЯМИТЕЛЬ включает в себя компоненты, преобразующие переменный ток в постоянный, и может быть реализован на разных технологиях: пассивной или активной.

- Пассивными выпрямителями являются диоды
- Активными выпрямителями являются кремниевые управляемые диоды (SCR) или биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT), которые пропускают ток только тогда, когда сигнал управления проходит через затвор.

РИС. 1: СХЕМА "6-ИМПУЛЬСНОГО" ИНВЕРТОРА



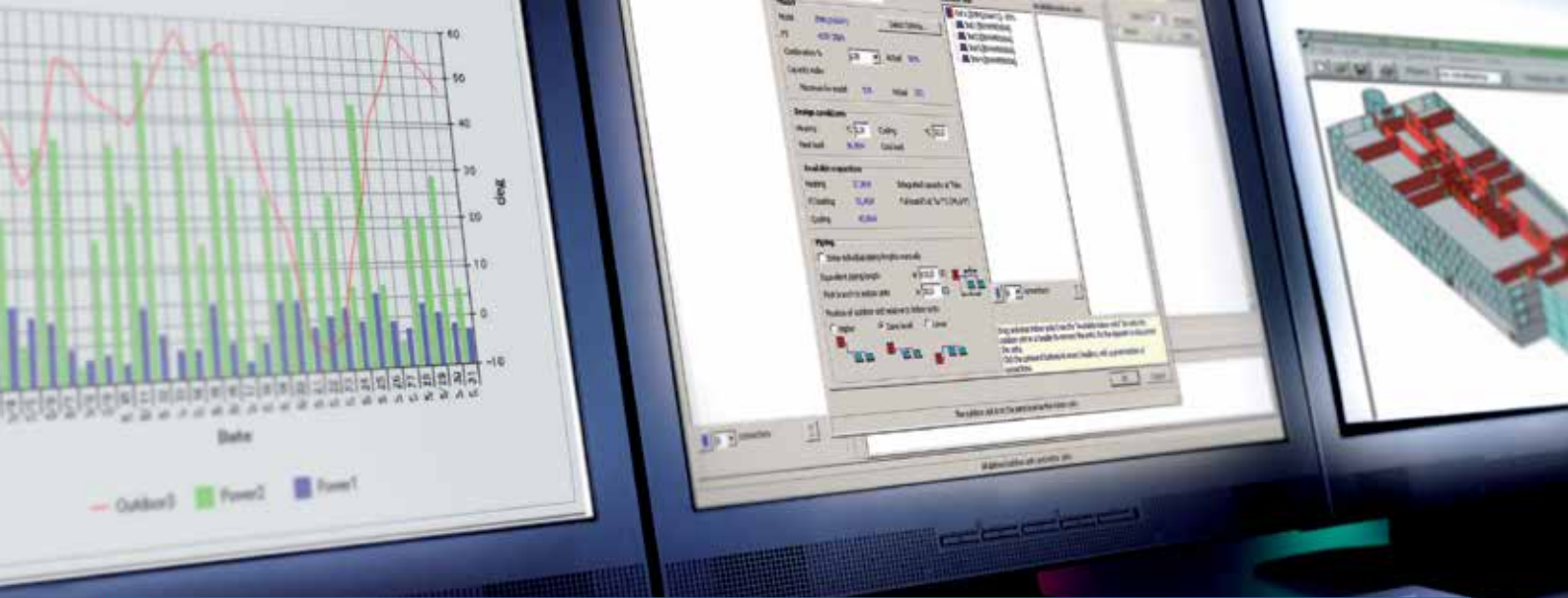
Из-за 'переменного' характера подаваемого напряжения, требуется, по крайней мере, два выпрямителя на каждую фазу питания: через один выпрямитель должен проходить ток при положительном напряжении питания, а через другой - при отрицательном. Поэтому при 3-фазном питании (L1, L2, L3 в сети 50 Гц, 3 ф., 400 В), выпрямитель состоит, как минимум, из трех элементов, формируя так называемый "6-импульсный инвертор".

Однако, некоторые инверторы включают большее количество выпрямителей, даже по четыре, шесть или восемь на каждую фазу. Они известны как '12-импульсные' (4x3 фаз), '18-импульсные' (6x3 фаз) и '24-импульсные' (8x3 фазы) устройства.

Дальнейшее увеличение количества выпрямителей на фазу снижает гармонические помехи в сети по сравнению с помехами, которые обычно создаются компонентом инвертора.

Если выпрямитель оснащен активными компонентами, такими как транзисторы IGBT, то инверторное устройство известно как активный инвертор (AFE-инвертор).

Такие устройства соответствуют самым строгим нормам и стандартам в отношении максимальных уровней гармонических возмущений, которые могут быть вызваны в сети частотным преобразователем.



## ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНВЕРТОРА

ИНВЕРТОРНЫЙ ПУСК ИМЕЕТ СЛЕДУЮЩИЕ ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА:

- 1) МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА
- 2) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА
- 3) ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ
- 4) ПРЕИМУЩЕСТВА ДЛЯ КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Повышение качества, надежности и энергоэффективности прибора; в зависимости от конкретного прибора, те или иные преимущества могут быть более существенными.

### 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Известно, что любой механический компонент подвергается максимальному напряжению во время пуска и останова, особенно в условиях недостаточной смазки движущихся элементов.



РИС. 2: МЕХАНИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ И/ИЛИ КОМПРЕССОРА, ЗАВИСЯЩИЕ ОТ УСЛОВИЙ СМАЗКИ

Механический компонент подвергается максимальному напряжению во время пуска и останова, особенно в условиях недостаточной смазки движущихся компонентов.

В таком случае, часто повторяющиеся циклы пуска/останова электродвигателя и особенно - компрессора, усиливают износ и со временем снижают уровень надежности оборудования (Рис. 2). Механический износ в этих переходных режимах непосредственно зависит от ускорения движущихся частей.

Электрическая пусковая система, работающая с постоянной частотой электропитания двигателя (D.O.L., Y-Δ, полупроводниковый пускатель, пускатель с последовательным включением обмоток), вызывает максимальное ускорение движущихся частей во время пуска компонента.

В противоположность этому, инвертор использует непрерывное изменение частоты тока питания в качестве основной управляющей переменной, тем самым обеспечивая постепенное ускорение. Это снижает отрицательный эффект недостаточной смазки во время переходного процесса, а также уменьшает механические напряжения, вызванные высоким крутящим моментом во время пуска.

## 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Электрические преимущества использования инвертора делятся на три категории:

- a) Минимальный пусковой ток
- b) Высокое значение коэффициента мощности двигателя
- c) Уменьшение общей потребляемой мощности в кВА при полной нагрузке.

### a) МИНИМАЛЬНЫЙ ПУСКОВОЙ ТОК

Высокое значение потребляемого тока, даже за доли секунды, может вызвать осложнения в электрической сети, в том числе падение напряжения и нарушение работы чувствительных электронных компонентов. Иногда магнитная защита электрической панели может даже вызывать немедленное отключение двигателя из-за магнитно-термической перегрузки.

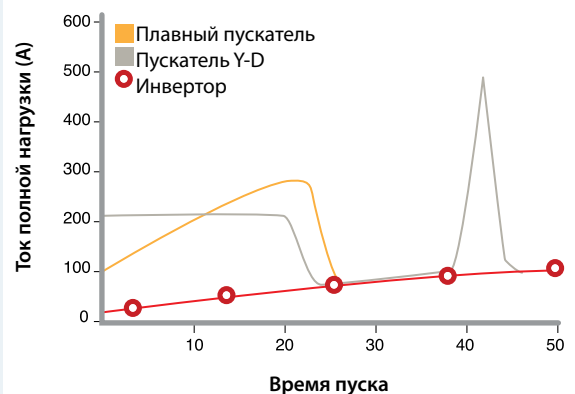
Значение пускового тока электродвигателя обычно оценивается как процент от тока полной нагрузки (FLA).

Для электродвигателей в основном используются следующие пусковые схемы: Прямой пуск (D.O.L.), звезда / треугольник (Y-Δ), плавный пуск (Soft Starter), пуск с части обмотки (Part Winding), пуск через автотрансформатор (Autotransformer) и инвертор (Inverter).

Из этих схем только инвертор может изменять входную частоту электродвигателя; остальные схемы работают исключительно по значению напряжения. В этом заключается их основное ограничение для минимизации пускового тока. В Таблице 1 приведено сравнение значений пускового тока в процентах от FLA, которые обеспечиваются упомянутыми выше схемами.

ТАБЛИЦА 1

Тип пусковой схемы	Пусковой ток в % от FLA
Прямой пуск (D.O.L.)	600-800 %
Пуск с части обмотки (Part Winding)	400-500 %
Автотрансформатор	400-500 %
Звезда-треугольник (Y-Δ)	200-300 %
Полупроводниковый плавный пускатель Soft Starter	200-300 %
Инвертор	БЕЗ СКАЧКА ТОКА



Когда инвертор, который иногда называется частотно-регулируемым приводом (VFD), управляет двигателем компрессора, то скачок тока во время пуска компрессора отсутствует.

В качестве примера возьмем инверторный чиллер, оснащенный несколькими компрессорами: когда запускается первый компрессор, то пусковой ток равен только нескольким амперам. Когда запускается другой компрессор, то пусковой ток всего агрегата никогда не будет больше рабочего тока уже работающих электродвигателей. Поэтому, например, в компрессоре хладагента, оснащенный электродвигателем мощностью 180 кВт, пусковой ток по схеме Y-Δ составляет около 700 А, а по инверторной схеме он равен току в режиме простоя (который практически нулевой).

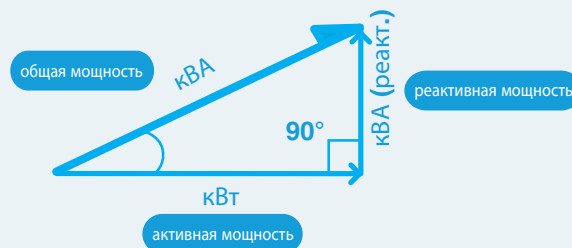
## б) ВЫСОКОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ (PF)

Любой электродвигатель, который создает и поддерживает вращающееся магнитное поле внутри себя, поглощает две различные мощности:

- АКТИВНУЮ мощность, измеряемую в кВт и используемую для совершения механической работы
- РЕАКТИВНУЮ мощность, измеряемую в кВА (реакт.), (киловольт-амперах реактивных), которая создает внутреннее магнитное поле.

Векторная сумма этих двух мощностей называется Общей мощностью, измеряемой в кВА (киловольт-амперах), где A показывает общий и эффективный ток, потребляемый двигателем. Она используется, чтобы вычислить поперечное сечение устанавливаемых силовых проводов.

РИС. 3: ВЕКТОРНЫЙ ТРЕУГОЛЬНИК МОЩНОСТЕЙ (АКТИВНОЙ, РЕАКТИВНОЙ, ОБЩЕЙ)



Соотношение между АКТИВНОЙ мощностью (кВт) и ОБЩЕЙ мощностью (кВА), как показано в уравнении (3), называется коэффициентом мощности (PF).

УРАВНЕНИЕ 3

$$\text{Коэффициент мощности (PF)} = \frac{\text{кВт}}{\text{кВА}}$$

Электродвигатель обязательно поглощает РЕАКТИВНУЮ мощность для поддержания внутри магнитного поля. С учетом потребляемой АКТИВНОЙ доли (кВт), чем меньше эффективная нагрузка электродвигателя, тем большую часть реактивной мощности он стремится поглотить.

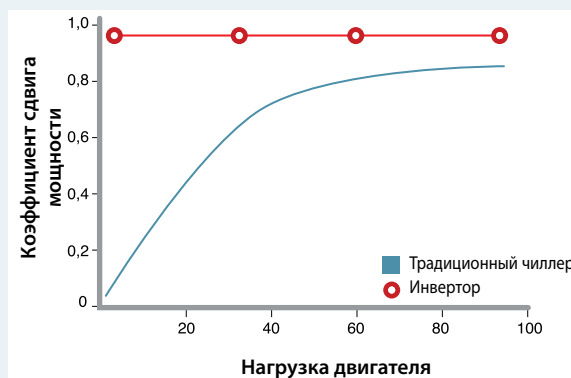
Другими словами, коэффициент мощности электродвигателя уменьшается при уменьшении уровня нагрузки на него, и доходит до значений, которые значительно меньше PF = 0,6 при минимальных условиях нагрузки.

Повышение потребляемой реактивной мощности ни в коем случае не является положительным явлением, поскольку:

- Повышение потребляемого эффективного тока связано с увеличением потерь на сопротивление (тепловые потери, эффект Джоуля)
- Требуется большее сечение проводов трансформаторов и питания
- Существует риск понести штрафные санкции от поставщиков электроэнергии, которые обычно требуют, чтобы значения коэффициента мощности были не менее 0,85-0,9 в узле питания.

Другими словами, установка инвертора, имеющего секцию сборных шин постоянного тока (DC BUS), включая конденсаторы (емкостной эффект) в любом режиме нагрузки, обеспечивает коэффициент мощности 0,95-0,97 (Рис. 4). Электродвигатель с инвертором всегда имеет более высокое значение сдвига фаз по сравнению с электродвигателем без инвертора, но оснащен внешней батареей фазосдвигающих конденсаторов.

РИС. 4: СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ С ИНВЕРТОРОМ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ БЕЗ ИНВЕРТОРА (400 В)



Снижение коэффициента мощности электродвигателя и уменьшение выходной нагрузки (что, как правило, противоположно тому, что происходит с электродвигателем, снабженным инвертором), приводит к следующему:

1. Риск наложения штрафа поставщиком электроэнергии из-за несоблюдения условий фазирования в точке питания
2. Частая необходимость устанавливать внешнюю батарею фазосдвигающих конденсаторов
3. Постоянно более высокое потребление электроэнергии (А) электродвигателем при той же выходной активной мощности (кВт). Это приводит к увеличению потребления электроэнергии и повышению ежегодных затрат из-за потерь на сопротивление в электрических проводниках.

РИС. 5: ИНВЕРТОРНЫЙ КОМПОНЕНТ ЗАМЕНЯЕТ “ПЛАВНЫЙ ПУСКАТЕЛЬ” И “ПАНЕЛЬ ФАЗОСДВИГАЮЩИХ КОНДЕНСАТОРОВ”



При сравнении технико-экономических преимуществ выбора холодильника с инвертором или без него, должна быть принята во внимание необходимость в установке внешней батареи фазосдвигающих конденсаторов, а также учтены упомянутые механические преимущества.

При выборе стандартной версии без инвертора, дополнительное приобретение фазосдвигающих конденсаторов и оборудования плавного пуска увеличит ее общую цену. Фактически затраты на фазосдвигающие конденсаторы и оборудование плавного пуска составляют приблизительно 7-8% всего стандартного блока без инвертора. Это значительно уменьшает разницу в цене между двумя вариантами, каждый из которых предлагает сравнимые технические и стоимостные характеристики.

Однако пункт 3 выше можно проанализировать количественно с экономической точки зрения.

Сравнивая потребление электроэнергии EWAD-C-XS/XL/XR и EWAD-CZXS/XL/XR в течение всего сезона охлаждения, т.е. с распределением различных нагрузок в соответствии с известным сезонным коэффициентом энергоэффективности (ESEER), легко продемонстрировать экономические преимущества EWAD-CZ с инвертором.

Свыше 40% экономии энергии может быть получено благодаря снижению потерь энергии кВт/ч за счет меньшего электрического сопротивления в проводниках (эффект Джоуля). Это обеспечивает значительную экономию ежегодных затрат на работу холодильной машины.

С) УМЕНЬШЕНИЕ ОБЩЕЙ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ В КВА ПРИ ПОЛНОЙ НАГРУЗКЕ.

Поскольку инвертор всегда поддерживает более высокий коэффициент мощности в электродвигателе по сравнению с потребляемой активной мощностью, то поглощение тока минимально как при частичной нагрузке электродвигателя, так и при номинальных условиях нагрузки (100%).

Непосредственное сравнение между блоками EWAD-CZ и стандартными блоками без компенсации коэффициента мощности позволяет количественно выразить эти преимущества.

ТАБЛИЦА 2

	EWAD760C-XS	EWADC10C-XS	EWADC13C-XS	EWADC16C-XS
Холодопроизводительность - кВт	756	1074	1349	1596
Потребляемая мощность блока - кВт	233	338	410	503
Номинальный рабочий ток - А	387	559	686	835
МАКС ток для различных размеров проводов	556	797	955	1196
	EWAD740CZXS	EWADC10CZXS	EWADC13CZXS	EWADC16CZXS
Холодопроизводительность - кВт	738	1037	1308	1622
Потребляемая мощность блока - кВт	235	339	442	558
Номинальный рабочий ток - А	381	505	659	829
МАКС ток для различных размеров проводов	533	725	869	1217
Рост электрической мощности	0,9%	0,3%	7,8%	10,9%
Номинальный рабочий ток - А	-1,6%	-9,7%	-3,9%	-0,7%
МАКС ток для различных размеров проводов	-4,1%	-9,0%	-9,0%	-1,8%

В Таблице 2 приведено следующее:

- Более высокое поглощение активной мощности (кВт) при полной нагрузке блоком EWAD-CZ для известной потери эффективности, вызванной наличием силового компонента
- Уменьшение номинального тока для холодильной машины, оснащенной инвертором
- Уменьшение величины тока, которую нужно учитывать при выборе сечения проводов электропитания для электроустановки блока.

Уменьшение номинального тока в штатном режиме работы также приводит к уменьшению на такую же долю общей мощности, поглощенной холодильной машиной. В случае трехфазной нагрузки это выражается уравнением (4).

УРАВНЕНИЕ 4

$$\text{Общая мощность (кВА)} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

Преимущества особенно увеличиваются для объектов, где невозможно увеличить электроснабжение, например, из-за отсутствия резерва в местной электросети.

При выполнении проектов модернизации старых установок, целесообразно обеспечить для новой холодильной машины такую же холодопроизводительность, что и для старой, но с меньшей потребностью в общей мощности. Это может освободить мощность для установки дополнительных приборов в том же узле питания, не превышая при этом установленную квоту максимального использования мощности. Очень эффективная холодильная машина с высоким коэффициентом мощности (EWAD-CZ) позволяет даже повысить холодопроизводительность при том же потреблении тока.



Рассмотрим существующую установку холодильной машины на хладагенте R-407C с EER 2,8 при полной нагрузке (согласно Eurovent, этому соответствует класс С согласно классификации энергоэффективности), с ограниченным потреблением тока вследствие существующего размера основного трансформатора, расположенного на электроподстанции. Однако, если здание нуждается минимум в 30% дополнительной холодопроизводительности, чтобы покрыть возрастающие потребности в системах обогрева, кондиционирования и вентиляции, или в системах технологического охлаждения, то высокоэффективная инверторная холодильная машина может легко покрыть эти потребности благодаря очень высокому значению EER и коэффициенту мощности, который всегда немного меньше единицы.

При замене существующей холодильной машины класса С с коэффициентом мощности при полной нагрузке, равным 0,8, и с таким же потреблением тока (Рис. 6):

- Типовой современный чиллер (R-134a, класс А Eurovent) может повысить холодопроизводительность только на 25%
- Инновационный чиллер EWAD-CZ (R-134a, класс А Eurovent) может повысить холодопроизводительность на 50%.



При выборе сечения устанавливаемых силовых линий, требуется меньший полный допустимый ток, поэтому можно добиться конкретной экономии затрат на монтаж кабелей холодильной машины.

Пример

Для холодильной машины мощностью около 1310 кВт, с максимальной потерей напряжения 5% при номинальном напряжении 400 В и расстоянии около 100 м между панелью питания холодильной машины и низковольтным шкафом:

- Блок без инвертора потребует три проводника, каждый сечением 300 мм<sup>2</sup>
- Блок с инвертором потребует три проводника, каждый сечением 240 мм<sup>2</sup>

Выбор блока с инвертором обеспечивает 20%-ную экономию затрат на электроустановку холодильника.

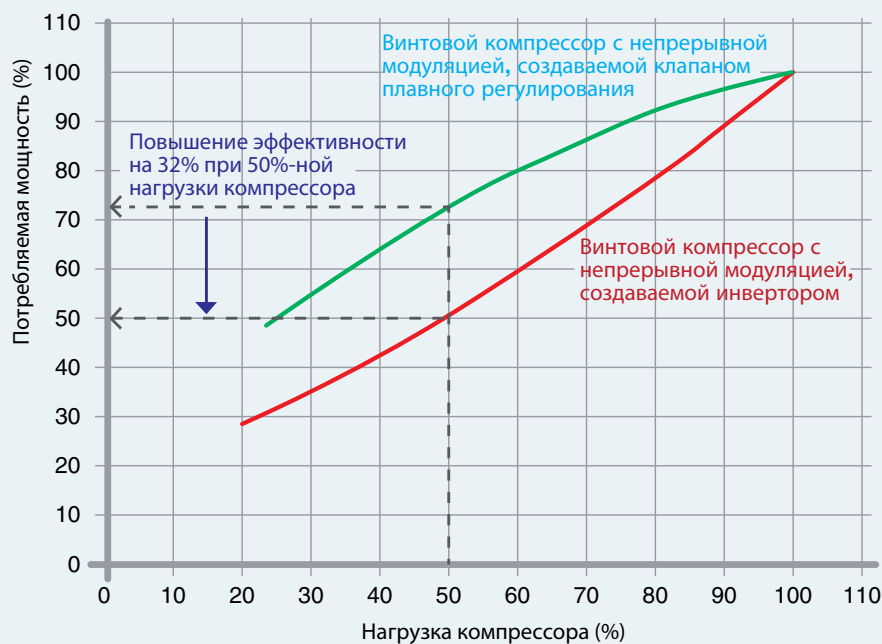
### 3. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Несомненно, одним из основных преимуществ устройства с инверторным управлением, такого как вентилятор, насос или компрессор, является значительная ежегодная экономия энергии.

Непрерывное изменение частоты оборотов электродвигателя подстраивает питание, подаваемое компонентом, включенным электродвигателем, регулируя частоту так, чтобы эффективно покрывать требования по нагрузке.

Изменение частоты оборотов электродвигателя уменьшает мощность, подаваемую включенным механическим компонентом, например, компрессором чиллера, и обеспечивает высокую энергоэффективность при любых изменениях нагрузки (0-100%), особенно по сравнению с системами механического регулирования, такие как регулирующие клапаны плавного регулирования или фиксированные байпасные сопла, активируемые электромагнитными клапанами.

РИС. 7: СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПРЕССОРОВ



Ежегодная экономия энергии, которая может быть достигнута при работе прибора с инверторным управлением, быстро окупает дополнительные инвестиции.

Тем не менее, следует отметить, что степень экономии энергии и затрат зависит от конкретной цены на электроэнергию в кВт-ч и, прежде всего, от средней рабочей загрузки анализируемого механического устройства.

Например, непрерывная работа инвертора почти на полной нагрузке в течение большей части года не будет обеспечивать такую же экономию, которая может быть легко получена прибором, работающим на средней нагрузке значительно ниже максимума.

Поэтому всегда желательно проводить анализ энергозатрат при работе прибора (даже в упрощенном варианте), который может быть оснащен инвертором, чтобы проверить преимущества его использования на этом конкретном приборе.

## 4. ПРЕИМУЩЕСТВА ДЛЯ КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

**Комфорт:** системы кондиционирования воздуха с инверторным управлением непрерывно регулируют холодо- и теплопроизводительность в соответствии с температурой воздуха в помещении. Инвертор сокращает время запуска системы и позволяет быстрее достичь требуемой температуры воздуха в помещении. При достижении соответствующего значения температуры инвертор постоянно ее поддерживает.

**Энергоэффективность:** блоки с инверторным управлением работают наиболее эффективно при частичных нагрузках, что приводит к снижению потребления энергии по сравнению с другими системами, поскольку им требуется только мощность, соответствующая нагрузке. Это снижает годовое потребление энергии. Система кондиционирования с инверторным управлением, например, контролирует и регулирует температуру воздуха тогда, когда это необходимо, поэтому потребление энергии снижается на 30% по сравнению с традиционной системой двухпозиционного управления.

**Экономия:** более низкое потребление энергии обеспечивает экономию средств и может компенсировать последствия роста цен на энергоносители.

**Снижение выбросов углерода:** благодаря повышению эффективности, компании могут извлечь выгоду из значительного снижения уровня выбросов углерода.

**Интеллектуальные средства управления** дают максимальные преимущества: блоки управления Daikin обеспечивают полный контроль над системой, и могут быть легко интегрированы с модулями связи, предоставив конечным пользователям комплексную систему управления. Эти блоки имеют простой, удобный набор элементов управления, что позволяет программировать и контролировать все аспекты работы системы, сохраняя подробную информацию, необходимую для использования инженерами по техническому обслуживанию. Интеллектуальные системы управления уменьшают загрузку оборудования и увеличивают энергоэффективность.



Daikin Europe N.V. принимает участие в программе сертификации Eurovent для жидкостных холодильных установок (LCP), блоков для очистки воздуха (AHU) и фанкоулов (FCU). Проверьте срок действия сертификата онлайн: [www.eurovent-certification.com](http://www.eurovent-certification.com) или [www.certiflash.com](http://www.certiflash.com)

Настоящий каталог составлен только для справочных целей и не является предложением, обязательным для выполнения компанией Daikin Europe N.V. Его содержание составлено компанией Daikin Europe N.V. на основании сведений, которыми она располагает. Компания не предоставляет явных или подразумеваемых гарантий относительно полноты, точности, надежности или пригодности для определенной цели содержания публикации или указанных в ней продуктов и услуг. Технические характеристики могут изменяться без предварительного уведомления. Компания Daikin Europe N.V. отказывается от какой-либо ответственности за прямые или косвенные убытки, понимаемые в самом широком смысле, вытекающие из прямого или косвенного использования и/или трактовки данного каталога. На все содержание распространяется авторское право Daikin Europe N.V.

Продукция Daikin распространяется компанией: