МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

**ГОСТ IEC/TS 60034-2-3— 2015**

# МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ

## Часть 2-3

## Специальные методы определения потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей переменного тока с питанием от преобразователя

(IEC/TS 60034-2-3:2013, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

## Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0—92 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2009 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены»

**Сведения о стандарте**

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ») и Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ) на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 333 «Вращающиеся электрические машины»

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 29 сентября 2015 г. № 80-П)

За принятие проголосовали:

| Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97 | Сокращенное наименование национального органа по стандартизации |
|---|---|---|
| Армения | AM | Минэкономики Республики Армения |
| Беларусь | BY | Госстандарт Республики Беларусь |
| Казахстан | KZ | Госстандарт Республики Казахстан |
| Киргизия | KG | Кыргызстандарт |
| Молдова | MD | Молдова-Стандарт |
| Россия | RU | Росстандарт |
| Таджикистан | TJ | Таджикстандарт |

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2016 г. № 420-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC/TS 60034-2-3—2015 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2017 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному документу IEC/TS 60034-2-3:2013 «Машины электрические вращающиеся. Часть 2-3. Специальные методы определения потерь и эффективности индукционных двигателей переменного тока с питанием от преобразователя» («Rotating electrical machines — Part 2-3: Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC induction motors», IDT).

Международный стандарт разработан техническим комитетом по стандартизации ТС 2 «Вращающиеся машины» Международной электротехнической комиссии (IEC).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты» (по состоянию на 1 января текущего года), а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет*

© Стандартинформ, 2016

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

## Содержание

1 Область применения . . . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . . . 1
3 Термины и определения . . . . . 2
4 Символы и обозначения . . . . . 2
5 Основные требования . . . . . 3
5.1 Средства измерений . . . . . 3
5.2 Установка преобразователя . . . . . 3
6 Методы определения коэффициента полезного действия двигателей при питании от преобразователя . . . . . 4
6.1 Методы испытаний . . . . . 4
6.2 Метод 2-3-A. Сложение потерь при питании от тест-преобразователя . . . . . 5
6.3 Метод 2-3-B. Сложение потерь при питании от индивидуального преобразователя . . . . . 6
6.4 Метод 2-3-C. Метод «вход — выход» . . . . . 7
6.5 Метод 2-3-D. Калориметрический метод . . . . . 7
7 Другие процедуры . . . . . 7
Приложение А (справочное) Определение выходного напряжения преобразователя . . . . . 8
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным межгосударственным стандартам . . . . . 12
Библиография . . . . . 13

## Введение

Предметом рассмотрения настоящего стандарта являются методы испытаний для определения дополнительных гармонических потерь в асинхронных двигателях, питающихся от преобразователей. Данные потери образуются в дополнение к потерям, которые имеют место при питании двигателя номинальным синусоидальным напряжением и определяются методами, описанными в стандарте IEC 60034-2-1. Настоящий стандарт позволяет сравнить потери в различных асинхронных двигателях, питаемых от преобразователей, вызванные гармоническим составом питающего напряжения.

В электроприводе часто используются преобразователи и двигатели, выпускаемые различными производителями. Двигатели одних и тех же типов производятся в больших количествах, а потому питаются от различных энергетических систем и преобразователей частоты, поставляемых различными производителями. Индивидуальные особенности преобразователя (частота коммутации, напряжение звена постоянного тока и т. п.) могут влиять на коэффициент полезного действия системы. Определять дополнительные потери в двигателе от гармоник для каждого сочетания двигателя, преобразователя частоты, соединительного кабеля, выходного фильтра и их режимов нецелесообразно. Учитывая значительные трудности в определении коэффициента полезного действия двигателя при питании от преобразователя, настоящий стандарт дает ряд подходов в зависимости от уровня напряжения и режимов работы машины при испытаниях.

Процедуры, описанные в настоящем стандарте, позволяют получить единый коэффициент гармонических потерь $r_{HL}$, представляющий соотношение дополнительных гармонических потерь в двигателе и потерь при синусоидальном напряжении питания.

Потери, определяемые методами настоящего стандарта, нельзя рассматривать как окончательные оценки потерь в конкретном применении. Однако они обеспечивают основу для объективного сравнения различных модификаций двигателя с точки зрения эффективности их использования в сочетании с преобразователями.

Методы настоящего стандарта относятся к асинхронным двигателям, применяемым с различными преобразователями частоты. Однако не исключается их применение к иным двигателям переменного тока и к машинам постоянного тока. В основном данные методы относятся к преобразователям со свойствами источника напряжения.

В общем случае потери при питании от управляемого преобразователя потери больше, чем при питании от синусоидального источника питания. Дополнительные гармонические потери зависят от спектра гармоник, генерируемых преобразователем (как спектра тока, так и напряжения), который, в свою очередь, зависит от схемотехнических решений и методов управления. Для получения дополнительной информации можно обратиться к IEC 60034-25.

Целью настоящего стандарта является расчет дополнительных потерь от высших гармоник несинусоидального источника питания и коэффициента полезного действия двигателя при таком режиме питания от преобразователя. Данный стандарт не предлагает методы определения потерь и коэффициента полезного действия электропривода в целом или силового преобразователя в частности.

Настоящий стандарт относится к двигателям, предназначенным для работы на частотах 50 Гц и 60 Гц с синусоидальным питанием. Однако приведенные в нем методы испытаний могут быть применены и для двигателей с иными номинальными данными, например, для 4-полюсных двигателей с номинальной частотой вращения 3000 об/мин при частоте 100 Гц и соответствующим номинальным напряжением.

**Низковольтные двигатели**

Как показывает опыт, гармонические потери в двигателе растут с ростом нагрузки. Методы настоящего стандарта распространяются на питание двигателя от преобразователя с широтно-импульсной модуляцией и постоянной формой импульса. К ним в основном относятся преобразователи со свойствами источника напряжения за исключением преобразователей со сверхмодуляцией. Общепризнано, что они имеют наиболее широкую сферу применения на рынке низковольтных промышленных преобразователей.

Признавая для таких преобразователей растущую необходимость соответствия национальным нормам энергоэффективности, в настоящем стандарте представлен так называемый тест-преобразователь для испытаний низковольтных двигателей.

Тест-преобразователь в принципе представляет собой источник напряжения с точно определенным и воспроизводимым содержанием гармоник, питающий машину при испытаниях. Коэффициент полезного действия (КПД) машины определяется при номинальной нагрузке и частоте 50 Гц или 60 Гц.

Использование этих частот позволяет произвести прямое сравнение КПД машины при питании от сети и преобразователя.

С выпуском настоящего стандарта появляется возможность приобрести практический опыт применения описанных в нем методов и обеспечить обратную связь для дальнейшего совершенствования процедуры испытаний.

**Ограничения для низковольтных и высоковольтных двигателей с многоуровневыми инверторами**

Следует отметить, что здесь описаны только стандартные методы, предназначенные для получения сравнительных оценок КПД при стандартизованных условиях испытаний. Если возможно определить двигатель, пригодный для работы от преобразователя, то определить действительные потери при его работе с конкретным преобразователем потребовало бы испытания всей системы электропривода, что методами настоящего стандарта не представляется возможным.

Следует ожидать погрешностей при использовании данных методов для двигателей, питаемых от многоуровневых инверторов со свойствами источника напряжения и от инверторов со свойствами источника тока, когда гармонические потери в двигателе более существенно зависят от скорости и нагрузки, чем в двухуровневых инверторах напряжения. Следовательно, в таких случаях определение потерь и КПД двигателя предпочтительнее проводить с тем же типом преобразователя, с которым предполагается его эксплуатация.

Еще одной опцией стандарта является определение дополнительных гармонических потерь в двигателе расчетным методом. По требованию заказчика производитель преобразователя должен предоставить производителю двигателя диаграммы импульсов.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

# МАШИНЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВРАЩАЮЩИЕСЯ

## Часть 2-3

## Специальные методы определения потерь и коэффициента полезного действия асинхронных двигателей переменного тока с питанием от преобразователя

Rotating electrical machines. Part 2-3. Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC induction motors

**Дата введения — 2017—03—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт представляет методы испытаний для определения потерь и коэффициента полезного действия (КПД) питающихся от преобразователей асинхронных двигателей, соответствующих стандарту IEC 60034-1. Асинхронный двигатель является составной частью регулируемого электропривода, как определено стандартами IEC 61800-2, IEC 61800-4 или IEC/TS 61800-8.

## 2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные документы. Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного документа, для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

IEC 60034-1, Rotating electrical machines — Part 1: Rating and performance (Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики)

IEC 60034-2-1:2007[1)], Rotating electrical machines. Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles) (Машины электрические вращающиеся. Часть 2-1. Стандартные методы определения потерь и коэффициента полезного действия по испытаниям (за исключением машин для подвижного состава)

IEC 60034-2-2, Rotating electrical machines — Part 2-2: Specific methods for determining separate losses of large machines from tests — Supplement to IEC 60034-2-1 (Машины электрические вращающиеся. Часть 2-2. Специальные методы определения отдельных потерь больших машин по испытаниям. Дополнение к IEC 60034-2-1)

IEC 61000-2-4, Electromagnetic compatibility (EMS) — Part 2-4: Environment — Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances (Электромагнитная совместимость (EMC). Часть 2-4. Условия окружающей среды. Уровни совместимости для низкочастотных проводимых помех в промышленных установках)

IEC/TS 61800-8, Adjustable speed electrical power drive systems — Part 8: Specification of voltage on the power interface (Электрические приводные системы с регулируемой скоростью. Часть 8. Спецификация напряжения на силовом сопряжении)

---

[1)] IEC 60034-2-1:2007 заменен на IEC 60034-2-1:2014. Однако для однозначного соблюдения требования настоящего стандарта, выраженного в датированной ссылке, рекомендуется использовать только указанное в этой ссылке издание.

**Издание официальное**

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте использованы термины и определения, приведенные в стандартах IEC 60034-1 и IEC 60034-2-1 с учетом следующих дополнений.

3.1 **потери в двигателе при питании от преобразователя** (motor losses with converter supply): При питании от преобразователя потери в двигателе представляют собой сочетание потерь, вызванных основной частотой питания (обычно 50 Гц или 60 Гц) и потерь, обусловленных гармониками преобразователя.

3.2 **основные потери** (fundamental losses): Основные потери в двигателе могут быть представлены как сочетание пяти компонент: потери в стали (зависящие от частоты и напряжения питания), потери на трение и вентиляционные (зависящие от частоты вращения), потери в обмотках ротора, потери в обмотках статора и дополнительные потери под нагрузкой (последние 3 составляющих зависят от тока двигателя). Основные потери двигателя определяются при его вращении с номинальным напряжением и частотой питания (50 Гц или 60 Гц) и отсутствии гармоник.

3.3 **гармонические потери** (harmonic losses): Гармонические потери в двигателе возникают при его питании несинусоидальным напряжением и/или током от преобразователя и являются дополнительными по отношению к основным потерям в стали, обмотках ротора и статора, а также добавочным потерям под нагрузкой.

## 4 Символы и обозначения

Для целей настоящего стандарта символы взяты из IEC 60034-2-1, IEC/TS 61800-8 с учетом следующих дополнений:

ШИМ — широтно-импульсная модуляция;

$f$ — частота питающей сети, Гц;

$f_{Mot}$ — частота основной гармоники питающей сети, Гц;

$f_N$ — номинальная частота двигателя, Гц;

$f_{sw}$ — частота коммутации, Гц;

$f_r$ — максимальная частота средства измерений, Гц;

$\omega$ — скорость вращения, $с^{-1}$;

$p$ — число пар полюсов;

$P_C$ — постоянные потери в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при номинальном синусоидальном питании, Вт;

$P_{CC}$ — постоянные потери в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при синусоидальном питании от тест-преобразователя, Вт;

$P_{fe}$ — потери в стали при номинальной частоте, Вт;

$P_{fw}$ — потери на трение и вентиляционные при номинальной скорости, Вт;

$P_{fw0}$ — потери на трение и вентиляционные при синхронной скорости, Вт;

$P_{HL}$ — суммарные гармонические потери в двигателе, Вт;

$P_{HL\,Load}$ — зависящая от нагрузки часть суммарных гармонических потерь, Вт;

$P_{HL\,No\text{-}Load}$ — не зависящая от нагрузки часть суммарных гармонических потерь, Вт;

$P_{LL}$ — дополнительные потери под нагрузкой в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при номинальном синусоидальном питании, Вт;

$P_{LLC}$ — дополнительные потери под нагрузкой в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при питании от преобразователя, Вт;

$P_{Lr}$ — остаточные потери в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при номинальном синусоидальном питании, Вт;

$P_{LrC}$ — остаточные потери в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при питании от преобразователя, Вт;

$P_r$ — потери в обмотках ротора в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при номинальном синусоидальном питании, Вт;

$P_s$ — потери в обмотках статора в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при номинальном синусоидальном питании, Вт;

$P_{Tsin}$ — суммарные потери в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при номинальном синусоидальном питании, Вт;

$P_{T\,test\text{-}converter}$ — суммарные потери в соответствии с IEC 60034-2-1:2007 при питании от тест-преобразователя, Вт;

$P_1$ — входная мощность при номинальном синусоидальном питании, Вт;
$P_{1C}$ — входная мощность при питании от преобразователя, Вт;
$P_2$ — выходная мощность при номинальном синусоидальном питании, Вт;
$P_{2C}$ — выходная мощность при питании от преобразователя, Вт;
$r_{HL}$ — коэффициент гармонических потерь — отношение гармонических потерь к потерям при номинальном питании, выраженное в процентах и округленное до целых;
$s$ — скольжение;
$T$ — момент машины при синусоидальном питании, Нм;
$T_C$ — момент машины при питании от преобразователя, Нм;
$U_{Mot}$ — напряжение основной частоты, В;
$U_N$ — номинальное напряжение на зажимах, В;

## 5 Основные требования

### 5.1 Средства измерений

5.1.1 Общие сведения

Для машин переменного тока для трехфазных значений напряжения и тока, если иное не указано, используется их арифметическое среднее.

При испытаниях электрических машин под нагрузкой неизбежны изменения входной мощности и других измеряемых величин. Поэтому необходимо регистрировать одновременно переменные несколько раз при каждой нагрузке через короткий промежуток времени (примерно 30 с) и для нахождения КПД использовать среднее значение.

При анализе гармоник в питающих двигатель цепях и их влияния на потери в двигателе необходимо выбирать оборудование, соответствующее имеющемуся спектру частот и требуемой точности измерений.

Для измерений температуры могут быть дополнительно использованы термодатчики, как описано в IEC 60034-2-1:2007.

5.1.2 Измерители мощности и первичные измерительные преобразователи

Средства измерения мощности и тока на входе двигателя должны в основном отвечать требованиям IEC 60034-2-1:2007, однако ввиду наличия высоких частот удовлетворять также нижеследующим требованиям.

Номинальная точность измерителей мощности должна быть 0,2 % и выше для частот 50 Гц и 60 Гц, а для более высоких частот 0,5 % до частот:

$f_r = 10\, f_{sw}$ для выхода преобразователя с ШИМ.

Пределы измерения амперметров и вольтметров должны быть адекватны соответствующим измеряемым величинам.

В измеритель мощности токи и напряжения предпочтительно вводить непосредственно. Если необходимы внешние преобразователи тока, вместо трансформаторов тока следует использовать широкополосные шунты или компенсационные преобразователи тока.

Полоса пропускания датчиков тока и соединительных линий должна быть по крайней мере от 0 до 100 кГц.

Встроенные фильтры в цифровых измерителях мощности должны быть отключены.

При измерениях мощности предпочтительно использовать метод трех ваттметров. Приемлем метод двух ваттметров (схема Аарона), однако следует отметить, что не любое доступное оборудование может скомпенсировать возможные погрешности этого метода. Такая возможность должна быть проверена по информации производителя оборудования.

Все кабели, передающие измерительную информацию, должны быть экранированными.

5.1.3 Механический выход двигателя

Все оборудование для измерения момента и скорости на выходе двигателя должно соответствовать IEC 60034-2-1:2007.

### 5.2 Установка преобразователя

5.2.1 Общие сведения

Для всех методов испытаний с использованием тест-преобразователя параметризация должна быть проведена в соответствии с требованиями настоящего стандарта. В случае испытания индивидуального сочетания преобразователя с двигателем преобразователь должен быть параметризован для специального применения. Выбранные в этом случае установки параметров должны содержаться в отчете об испытаниях.

5.2.2 Установка тест-преобразователя на номинальные напряжения до 1 кВ

Тест-преобразователь рассматривается как источник напряжения, не зависящего от нагрузки, установленный на номинальное напряжение и частоту (50 Гц или 60 Гц) испытуемого двигателя.

Следует отметить, что так называемый режим работы с тест-преобразователем не предназначен и не востребован каким-либо коммерческим применением. Целью установки тест-преобразователя является лишь создание условий для сопоставления двигателей, предназначенных для работы с любыми преобразователями.

Ниже дана следующая справочная информация по тест-преобразователю.

- Двухуровневый преобразователь напряжения.
- Деактивировано управление с обратной связью по току.
- Не используется компенсация скольжения.
- Отсутствуют дополнительные устройства для регулирования выходного напряжения или тока преобразователя между преобразователем и двигателем за исключением тех, которые необходимы для целей измерения.
- Основная гармоника питающего двигатель напряжения равна $U_{Mot} = U_N$ при частоте 50 Гц или 60 Гц. Напряжение питания тест-преобразователя установлено таким, чтобы обеспечить номинальное напряжение двигателя без сверхмодуляции. Однако оно не должно быть выше необходимого для выполнения вышеуказанных условий.
- Основная гармоника частоты питающего двигатель напряжения равна $f_{Mot} = f_N$ (50 Гц или 60 Гц).
- Частота коммутации преобразователя $f_{sw}$ мощностью не выше 90 кВт составляет 4 кГц.
- Частота коммутации преобразователя $f_{sw}$ мощностью свыше 90 кВт составляет 2 кГц.

Приложение А определяет выходные параметры тест-преобразователя и методы проверки его соответствия. Тест-преобразователь может питаться от подходящей сети переменного или постоянного тока.

Тест-преобразователь должен быть соединен с двигателем экранированным кабелем, длина которого не превышает 100 м, а сечение соответствует номинальным данным двигателя.

5.2.3 Испытания с индивидуальным преобразователем

Для электроприводов с напряжением питания выше 1 кВ применение тест-преобразователей и кабелей обычно не нормируется. Такие электроприводы испытываются как комплекс из преобразователя, двигателя и кабеля, поскольку форма и параметры импульсов существенно зависят как от производителя и номинальной мощности привода.

## 6 Методы определения коэффициента полезного действия двигателей при питании от преобразователя

### 6.1 Методы испытаний

Методы испытаний представлены в таблице 1

Таблица 1

| Номер | Метод | Описание | Раздел | Ресурсы |
|---|---|---|---|---|
| 2-3-A | Сложение потерь при питании от тест-преобразователя | Гармонические потери определяются по приложению А | 6.2 | Синусоидальное питание и тест-преобразователь на полную нагрузку |
| 2-3-B | Сложение потерь при питании от индивидуального преобразователя | Гармонические потери определяются с индивидуальным преобразователем | 6.3 | Синусоидальное питание и индивидуальный преобразователь на полную нагрузку |
| 2-3-C | Вход — выход | Измерение момента | 6.4 | Измеритель момента на полную нагрузку |
| 2-3-D | Калориметрический | Измерение потерь по нагреву охладителя | 6.5 | Индивидуальный преобразователь. Измерения в соответствии с IEC 60034-2-2 |

### 6.2 Метод 2-3-А. Сложение потерь при питании от тест-преобразователя

6.2.1 Общие сведения

Опыт показывает, что даже при использовании преобразователей напряжения с формой и величиной выходного напряжения, не зависящими от нагрузки, гармонические потери обычно растут с увеличением нагрузки. Для низковольтных инверторов постоянная форма импульсов характерна при постоянной амплитуде модуляции, не превышающей предела напряжения звена постоянного тока.

Поэтому суммарные дополнительные потери питанием от преобразователя определяются из испытания под нагрузкой при синусоидальном питании и питании от инвертора. Дополнительные гармонические потери представляют собой разницу между потерями в этих двух испытаниях.

Для выполнения этих испытаний кроме преобразователя должен присутствовать синусоидальный источник питания в соответствии со стандартом IEC 61000-2-4, класс 1.

В качестве преобразователя в этих испытаниях должен использоваться тест-преобразователь, представленный в приложении А, что позволяет сравнить КПД различных машин, так как форма импульсов стабильна и сопоставима. В этом состоит отличие от использования в испытаниях индивидуального преобразователя, описанных в методе 2-3-В, когда выходное напряжение определяется спецификой системы управления конкретного производителя.

6.2.2 Процедура испытания

Испытания проводятся в следующей последовательности

- Для определения суммарных потерь $P_{Tsin}$ выполняется испытание под нагрузкой с синусоидальным источником питания при номинальных значениях частоты и напряжения в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.1).
- Определяются потери под нагрузкой в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1 В (6.1.2.1.2).
- Выполняется испытание под нагрузкой с синусоидальным источником питания при номинальных значениях частоты и напряжения в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.3) и определяются соответствующие потери.
- Выполняется испытание на холостом ходу с синусоидальным источником питания при номинальных значениях частоты и напряжения в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.4).
- Определяются постоянные потери $P_C$ в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.5).
- Выполняется испытание под нагрузкой с тест-преобразователем при номинальных значениях частоты и напряжения в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.3) и определяются соответствующие потери.
- Выполняется испытание на холостом ходу с тест-преобразователем при номинальных значениях частоты и напряжения в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.4).
- Определяются постоянные потери $P_{CC}$ в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.5).

**Дополнительные гармонические потери, связанные с нагрузкой — остаточные потери $P_{LL}$ и $P_{LLC}$**

Остаточные потери определяются в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1В (6.1.2.1.6) по результатам вышеописанных испытаний.

Остаточные потери вычисляются по каждой точке испытаний под нагрузкой путем вычитания из входной мощности: выходной мощности, нескорректированных потерь в обмотках статора при реальном сопротивлении в испытании, потерь в стали, потерь на трение и вентиляционных, а также нескорректированных потерь в обмотках ротора, соответствующих скольжению при испытании.

Эти вычисления проводятся для синусоидального питания по формуле

$$P_{Lr} = P_1 - P_2 - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw},$$

и при питании от тест-преобразователя для тех же точек нагрузки определяется

$$P_{LrC} = P_{1C} - P_{2C} - P_s - P_r - P_{fe} - P_{fw},$$

где

$$P_{fw} = P_{fw0} \cdot (1 - s)^{2,5} \text{ и } s = 1 - \frac{p \cdot n}{f}$$

являются скорректированными потерями на трение и вентиляционными в соответствии с IEC 60034-2-1:2007.

В обоих случаях данные по остаточным потерям должны быть сглажены методами линейного регрессионного анализа в соответствии с IEC 60034-2-1:2007, основанными на выражении потерь в функции квадрата момента нагрузки:

$$P_{Lr} = A \cdot r^2 + B \text{ и } P_{LrC} = A_C \cdot r_c^2 + B_C.$$

Значение добавочных потерь под нагрузкой определяются в точке номинальной нагрузки для случаев синусоидального питания и питания от преобразователя, когда наклон постоянен $A$ и $A_C$ в установившемся состоянии:

$$P_{LL} = A \cdot T_N^2 \text{ и } P_{LLC} = A_C \cdot T_N^2 .$$

Дополнительные потери под нагрузкой $P_{LLC}$ охватывают таким образом все зависящие от нагрузки дополнительные потери, т. е. те, которые обусловлены основной частотой под нагрузкой, а также зависящие от нагрузки дополнительные гармонические потери от тест-преобразователя.

Разница между дополнительными потерями под нагрузкой при работе от тест-преобразователя и потерями от основной частоты представляет собой зависящие от нагрузки дополнительные гармонические потери:

$$P_{HL_{Load}} = P_{LLC} - P_{LL}.$$

**Постоянные потери при синусоидальном питании и питании от тест-преобразователя**

Разность потерь холостого хода при работе от тест-преобразователя и от источника синусоидального питания представляет собой постоянную составляющую дополнительных гармонических потерь двигателя:

$$P_{HL_{No-Load}} = P_{CC} - P_C.$$

6.2.3 Определение КПД

Разница между дополнительными потерями под нагрузкой при работе от тест-преобразователя и потерями от основной частоты представляет собой дополнительные гармонические потери двигателя:

$$P_{HL} = P_{HL_{No-Load}} + P_{HL_{Load}}.$$

Для получения КПД двигателя при работе от преобразователя частоты дополнительные гармонические потери в двигателе при питании от тест-преобразователя должны быть добавлены к потерям, полученным при синусоидальном питании по IEC 60034-2-1:2007, метод 2-1-1B:

$$P_{T\ test\text{-}converter} = P_{T\ \sin} + P_{HL}.$$

Тогда значение КПД можно вычислить по формуле

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{T\ test-converter}}.$$

Значение коэффициента гармонических потерь определяется выражением

$$r_{HL} = \frac{P_{HL}}{P_{T\ \sin}} \cdot 100\ \%$$

и округляется до целого.

### 6.3 Метод 2-3-B. Сложение потерь при питании от индивидуального преобразователя

Суммарные дополнительные потери, вызванные питанием от преобразователя, могут быть из испытаний под нагрузкой при питании от синусоидального источника и при питании от индивидуального

преобразователя. В части питания от индивидуального преобразователя процедура аналогична описанной в методе 2-3-А.

### 6.4 Метод 2-3-С. Метод «вход — выход»

6.4.1 Описание

В данном методе механическая мощность $P_{2C}$ машины определяется путем измерения момента на валу и его скорости вращения. Электрическая мощность $P_{1C}$, потребляемая статором, определяется в том же испытании.

6.4.2 Процедура испытания

Испытание проводится с индивидуальным преобразователем, от которого будет питаться двигатель при эксплуатации, и соединенным с ним двигателем, полностью укомплектованным для работы в номинальном или близком к нему режиме.

Двигатель присоединяется к нагрузочной машине через датчик момента. При испытании двигатель нагружается номинальным моментом до достижения установившегося температурного режима (когда изменение температуры не превышает 1 К за полчаса).

По окончании испытания регистрируются:

$T$ — момент на валу,

$\omega$ — угловая скорость,

$P_{1C}$ — мощность на входе индивидуального преобразователя.

6.4.3 Определение КПД

Вычисляется выходная мощность:

$$P_{2C} = 2\pi \cdot T \cdot \omega$$

Вычисляется КПД:

$$\eta = \frac{P_{2C}}{P_{1C}}.$$

### 6.5 Метод 2-3-D. Калориметрический метод

КПД может также быть определен с помощью калориметрических измерений суммарных потерь испытуемого оборудования в магистралях первичного или вторичного хладагента. Процедура испытания данным методом должна соответствовать стандарту IEC 60034-2-2.

## 7 Другие процедуры

Если номинальные данные двигателя превышают возможности испытательного оборудования, для приближенного определения дополнительных гармонических потерь, как альтернатива, могут быть использованы расчетные методы. Расчеты должны основываться на реальной форме пульсаций на выходе преобразователя, подходящих для анализа гармоник моделях электрической машины и частотно-зависимых параметрах элементов ее схемы замещения.

**Приложение А**
**(справочное)**

## Определение выходного напряжения тест-преобразователя

### А.1 Определения и схемы

Для целей данного раздела настоящего стандарта ниже даны термины и определения, дополнительные к приведенным в разделе 4.

*NP* — нейтральная точка преобразователя;

*SP* — нейтральная точка нагрузки;

$U_d$, $U_{d+}$, $U_{d-}$ — напряжения в звене постоянного тока относительно NP: положительной шины $U_{d+}$ и отрицательной шины — $U_{d-}$;

$U_U$, $U_V$, $U_W$ — фазные напряжения на выходе инвертора в установившемся режиме;

$U^*_U$, $U^*_V$, $U^*_W$ — заданные значения фазных напряжений на выходе инвертора;

$U_{UD}$, $U_{VD}$, $U_{WD}$ — напряжения на фазах нагрузки, соединенной в звезду в установившемся режиме;

$U^*_{UD}$, $U^*_{VD}$, $U^*_{WD}$ — заданные напряжения на фазах нагрузки, соединенной в звезду в установившемся режиме;

$U_{CCM}$ — напряжение смещения нейтральной точки нагрузки относительно нейтральной точки преобразователя;

$U_{ref}$ — амплитуда заданного значения напряжения питания двигателя, постоянного в установившемся режиме;

$f_{1ref}$ — заданное значение частоты питания двигателя, постоянное в установившемся режиме;

$U^*_{ext}$ — напряжение помехи общего вида, синфазный сигнал, используемые в модуляторе;

$S_U$, $S_V$, $S_W$ — команды на включение фаз инвертора.

На рисунке А.1 показан соединенный по схеме «звезда» двигатель вне зависимости от того, что спецификация двигателя может предусматривать соединение в треугольник с внутренними или внешними выводами обмоток.

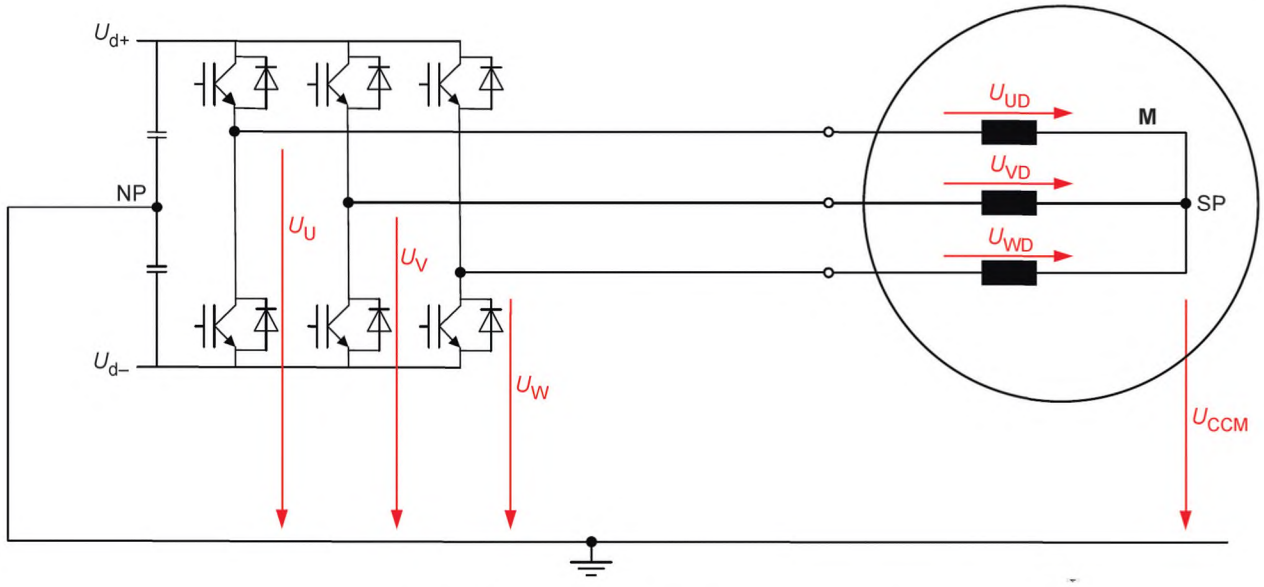


Рисунок А.1 — Схема инвертора и двигателя

Выходное напряжение инвертора ($U_U$, $U_V$, $U_W$) может быть представлено в виде суммы фазных напряжений нагрузки ($U_{UD}$, $U_{VD}$, $U_{WD}$) и напряжения смещения $U_{CCM}$. Напряжение каждой фазы можно рассчитать как разницу между соответствующим выходным напряжением фазы преобразователя и напряжением смещения.

Так, например, для фазы U:

$$U_{UD} = U_U - U_{CCM}.$$

Напряжение смещения может быть вычислено следующим образом

$$U_{CCM} = (U_U + U_V + U_W)/3.$$

### А.2 Задание величины и формы напряжения

В настоящем разделе описан метод создания импульсов тест-преобразователя и поясняется вид осциллограмм на рисунке А.3, получаемых в процессе измерений.

Основной контроллер выдает заданные значения абсолютных величин требуемого напряжения и частоты двигателя $U_{ref}$, $f_{1ref}$ для необходимого установившегося режима работы.

В контроллере преобразователя рассчитываются заданные мгновенные значения напряжений ($U^*_{UD}$, $U^*_{VD}$, $U^*_{WD}$), которые должны быть приложены к двигателю:

$$U^*_{UD} = U_{ref} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{1ref} \cdot t);$$
$$U^*_{VD} = U_{ref} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{1ref} \cdot t - 2\pi/3);$$
$$U^*_{WD} = U_{ref} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{1ref} \cdot t + 2\pi/3).$$

Затем напряжение линейной коррекции $U^*_{ext}$ добавляется к заданным мгновенным значениям напряжения. Напряжение линейной коррекции — это синфазное напряжение, увеличивающее диапазон регулирования напряжения, в котором напряжение на двигателе соответствует заданию, не вызывая низкочастотных гармоник.

$$U^*_U = U^*_{UD} + U^*_{ext};$$
$$U^*_V = U^*_{VD} + U^*_{ext};$$
$$U^*_W = U^*_{WD} + U^*_{ext}.$$

Затем полученные значения сравниваются со значениями пилы коммутации, формируя, таким образом, коммутирующие импульсы $S_U$, $S_V$, $S_W$. Пила коммутации — периодический симметричный сигнал треугольной формы, частота которого определяет частоту коммутации инвертора. Инвертор формирует напряжение на выходе ($U_U$, $U_V$, $U_W$) в соответствии с коммутирующими импульсами. Структура системы приведена на рисунке А.2

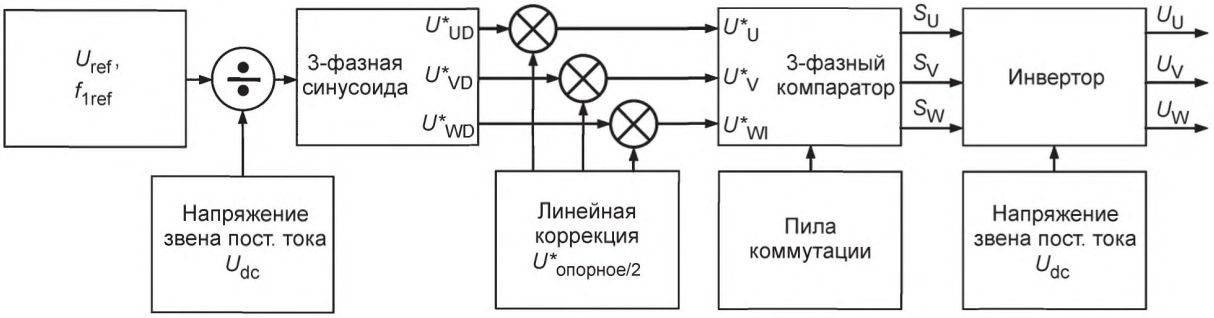


Рисунок А.2 — Структура системы формирования напряжения инвертора

Напряжение коррекции $U^*_{ext}$, используемое в тест-преобразователе, определяется как половина опорного из трех заданных мгновенных значений напряжений ($U^*_{UD}$, $U^*_{VD}$, $U^*_{WD}$). Опорное напряжение есть то, которое имеет наименьшую абсолютную величину. Взаимосвязь между этими напряжениями представлена на рисунке А.3.

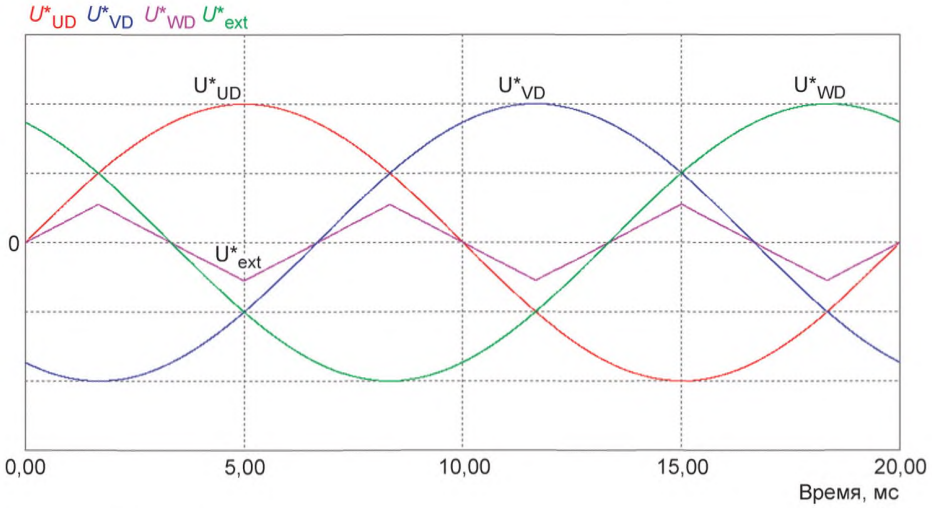


Рисунок А.3 — Заданные мгновенные значения напряжений и напряжение коррекции

На рисунке 4 для фазы U представлено синусоидальное напряжение задания $U^*_{UD}$ и результирующее на входе компаратора $U^*_U$, сравниваемое в компараторе с пилой коммутации.

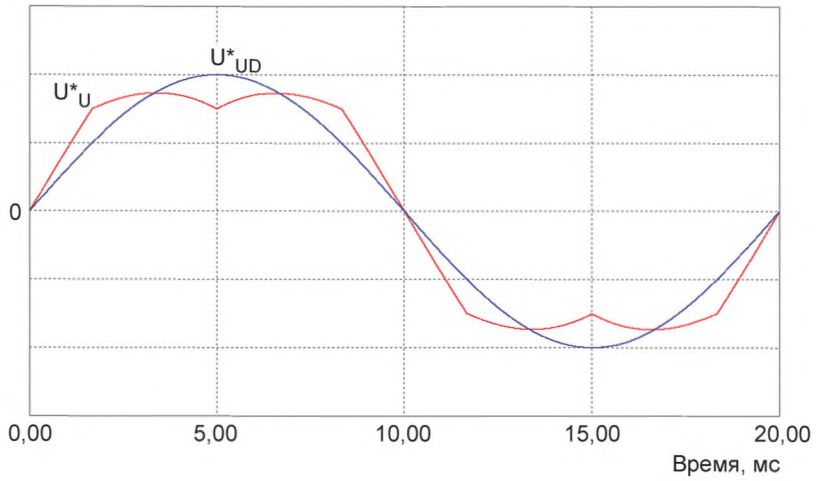


Рисунок А.4 — Заданное значение напряжения $U^*_{UD}$ и модифицированное напряжение задания на входе компаратора

Напряжение на выходе инвертора, измеряемое между клеммами инвертора и нейтралью преобразователя NP, соответствует конфигурации напряжения, вырабатываемого после сравнения скорректированного задающего напряжения со значениями напряжений пилы коммутации (см. рисунок А.2). Это проиллюстрировано на рисунках А.5 и А.6 для частоты 50 Гц и частоты пилы коммутации 4 кГц.

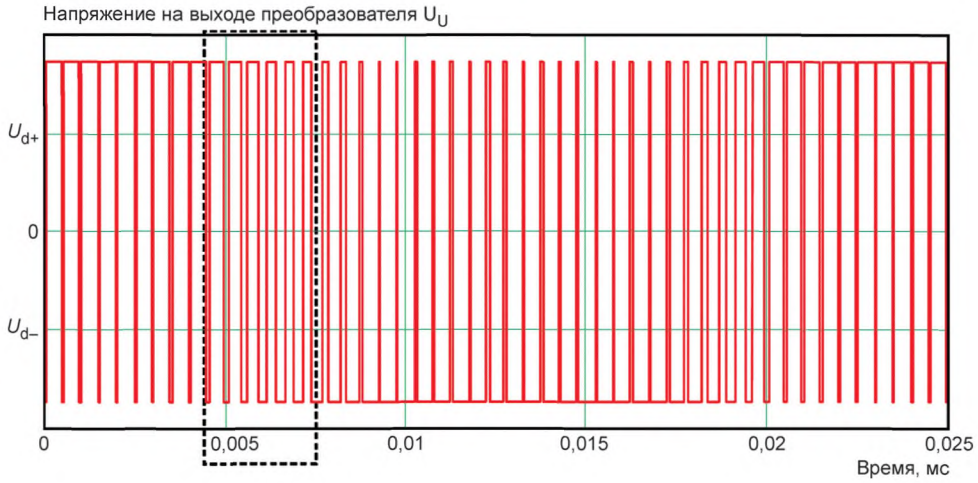


Рисунок А.5 — Форма импульсов на клеммах двигателя (основная частота — 50 Гц, частота коммутации — 4 кГц)

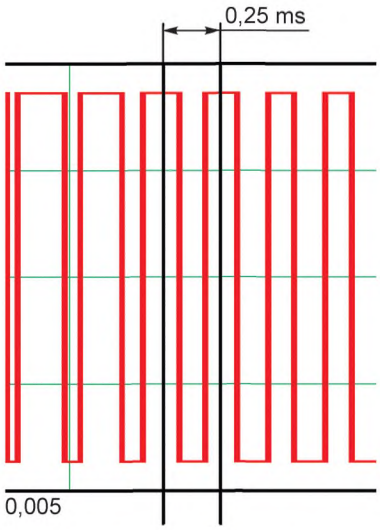


Рисунок А.6 — Увеличение выделенной на рисунке А.5 области

Расстояние между центрами двух соседних импульсов есть величина, обратная частоте пилы коммутации, которая равна частоте коммутации инвертора.

### А.3 Проверка временных интервалов

Для проверки напряжения и частоты питания двигателя необходимо провести измерения в точке, определенной в 5.2.2.

Напряжение на клеммах инвертора $U_U$ должно выглядеть, как показано на рисунках А.5 и А.6. Не должен иметь место пропуск импульсов. Расстояние между центрами соседних импульсов при частоте 4 кГц должно составлять 0,25 мс, а при частоте 2 кГц — 0,5 мс.

Если имеет место пропуск импульсов, должно быть снижено напряжение звена постоянного тока. Для проверки правильности работы линейной коррекции напряжение на зажимах инвертора $U_U$ должно измеряться через фильтр нижних частот. На рисунке А.7 показано, как должно выглядеть это напряжение.

Характерной является форма этого напряжения с двумя максимумами, при этом не должно быть выражено насыщение на верхних и нижних максимумах.

Как альтернатива, напряжение на клеммах может быть измерено относительно положительной или отрицательной шины звена постоянного тока и выражено как смещение относительно $\pm U_d/2$.

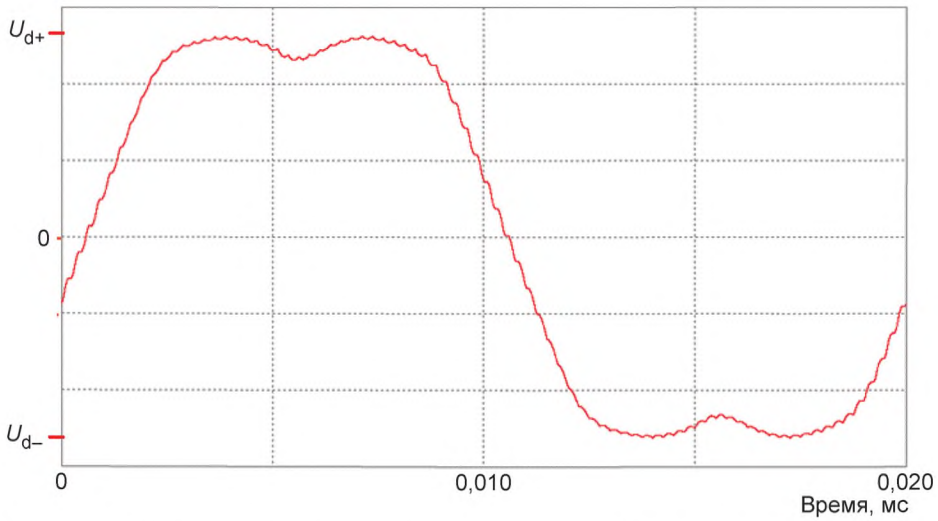


Рисунок А.7 — Отфильтрованное напряжение на зажимах инвертора $U_U$ (основная частота 50 Гц, фильтр нижних частот второго порядка 500 Гц/0,7)

Потенциал заземленного провода не может быть использован как точка отсчета.

**Приложение ДА**
**(справочное)**

## Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта |
|---|---|---|
| IEC 60034-1 | IDT | ГОСТ IEC 60034-1—2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 1. Номинальные значения параметров и эксплуатационные характеристики |
| IEC 60034-2-1:2007 | IDT | ГОСТ МЭК 60034-2—2008[1)] Машины электрические вращающиеся. Часть 2. Методы определения потерь и коэффициента полезного действия вращающихся электрических машин при испытаниях (исключая машины для тяговых транспортных средств) |
| IEC 60034-2-2 | IDT | ГОСТ IEC 60034-2-2—2014 Машины электрические вращающиеся. Часть 2-2. Специальные методы определения отдельных потерь больших машин по испытаниям |
| IEC 61000-2-4 | IDT | ГОСТ IEC 61000-2-4—2014[2)] Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 2-4. Условия окружающей среды. Уровни совместимости в промышленных установках для низкочастотных кондуктивных помех |
| IEC/TS 61800-8 | — | * |

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты.

[1)] На территории Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60034-2-1—2009.
[2)] На территории Российской Федерации действует ГОСТ Р 51317.2.4—2000 (МЭК 61000-2-4—94).

## Библиография


IEC/TS 60034-25 Rotating electrical machines — Part 25: AC electrical machines used in power drive systems — Application guide (Машины электрические вращающиеся. Часть 25. Электрические машины переменного тока, используемые в системах силового привода. Руководство по применению)

IEC 61800-2 Adjustable speed electrical power drive systems — Part 2: General requirements — Rating specifications for low voltage adjustable frequency a.c. power drive systems (Системы силовых электроприводов с регулируемой скоростью. Часть 2. Общие требования. Номинальные технические характеристики низковольтных систем силовых электроприводов переменного тока с регулируемой частотой)

IEC 61800-4 Adjustable speed electrical power drive systems — Part 4: General requirements. Rating specifications for a.c. power drive systems above 1 000 V a.c. and not exceeding 35 kV (Системы силовых электрических приводов с регулируемой скоростью. Часть 4. Общие требования. Номинальные технические характеристики систем силовых приводов переменного тока свыше 1000 В и не более 35 кВ)

УДК 621.313.333:006.354 МКС 29.160 IDT

Ключевые слова: машины электрические вращающиеся; асинхронные двигатели; методы определения потерь и коэффициента полезного действия; преобразователь частоты; инвертор; гармонические потери; калориметрический метод.

Редактор *Н.В. Верховина*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 30.05.2016. Подписано в печать 06.06.2016. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал. Усл. печ. л. 2,32.
Уч.-изд. л 1,86. Тираж 26 экз. Зак. 1416.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru

IECTS 60034-2-3-2015