В настоящие дни существует большое количество различных типов электрических двигателей. Использование того или иного вида двигателя обуславливается в немалой степени условиями эксплуатации. В этой статье будет рассматриваться вентильный двигатель. Вентильный двигатель – это разновидность двигателя постоянного тока, в которых вместо коллекторно-щёточного узла используется бесконтактный полупроводниковый коммутатор, управляемый датчиком положения. Замена механического щёточного коммутатора-коллектора полупроводниковым позволяет повысить срок долговечности двигателя, улучшает надёжность и создаёт меньше радиопомех. Поскольку в таком двигателе отсутствуют физические контакты, то снижается вероятность возникновения электрической искры что позволяет использовать такие двигатели в различных взрывоопасных средах [1].

Электрический двигатель – это устройство конвертирующее электрическую энергию в механическую энергию. По данным Международного энергетического агентства доля потребления электроэнергии электрическими двигатели составляет от 43% до 46% всего мирового потребления [2]. При этом выбросы составляют около 6 040 миллионов тонн. При сохранении текущих темпов роста использования электрических двигателей и без разработки комплексных мер направленных на эффективное энергопотребление ожидается, что к 2030 году электроэнергия, расходуемая электрическими двигателями, вырастет до 13 360 тераватт в год, а выбросы вырастут до 8 570 миллионов тонн в год.

Электрические двигатели можно разделить на несколько частей:

1. Основная часть используемых электрических моторов потребляют менее чем 0.75 киловатт и применяются в небольших устройствах, в основном в частном и коммерческом секторе. Эти моторы потребляют всего лишь около 9% электроэнергии от общего числа электроэнергии потребляемой электрическими двигателями. В частности, такие моторы встроены в такие приборы массового потребления, как, компрессоры холодильников, вентиляторы кондиционирующих систем, двигатели компьютерных жёстких дисков и так далее.
2. Самая большая часть электрической энергии потребляется моторами среднего класса с мощностями от 0.75 киловатт и до 375 киловатт. В этом классе моторов используются самые различные технологии двигателей и схем компоновки, но чаще всего используются асинхронные двигатели переменного тока и они же потребляют большую часть электрической энергии. Такие моторы либо поставляются непосредственно производителями и встраиваются в электромеханическую продукцию (такую как насосы, вентиляторы, компрессоры и так далее), либо продаются непосредственно сами двигатели, которые впоследствии используются покупателями для своих нужд. Такие электрические двигатели широко используются на производстве, коммерческих предприятиях, инфраструктурных системах и, реже, в частном секторе.
3. Большие электрические двигатели с выходной мощностью более чем 375 киловатт обычно представляют собой высоковольтные двигатели переменного тока. Собираются и проектируются подобные двигатели обычно под заказ и собираются совместно с электромеханическими системами непосредственно на месте использования. В числовом отношении такие двигатели представляют 0.03% от общего числа электрических двигателей, но потребляют 23% электроэнергии от общего потребления всеми электрическими двигателями

В статье «Сравнительный анализ энергетических характеристик вентильных и асинхронных двигателей» Сафонов В.В.[3] приводит следующие факты:

Среди основных тенденций развития электромеханики можно выделить:

* вытеснение коллекторных электромеханических преобразователей
* бесколлекторными или полностью бесконтактными;
* интеграцию с электронными компонентами, информационно
* управляющими системами, накопительными комплексами;
* использование постоянных магнитов последнего поколения;
* внедрение малоотходных технологий.

Большинству из этих тенденций соответствует вентильный двигатель с постоянными магнитами (ВДПМ).

Вентильные двигатели имеют меньший потребляемый ток и ток холостого хода, а также более высокий КПД и коэффициент мощности.

Снижение энергопотребления возникает за счёт:

* более высоких КПД (91-92%);
* меньшие значения рабочих токов, что обеспечивает снижение потерь мощности в кабельной линии;
* регулирования частоты вращения в широком диапазоне при постоянном моменте.

Кроме того, энергетические показатели вентильных двигателей малых мощностей гораздо выше, чем у асинхронных двигателей, что в свою очередь повышает применяемость таких двигателей.

В той же статье подводится итог положительным и отрицательным сторонам вентильных двигателей [3].

Преимущества:

1. Бесконтактность и отсутствие узлов, требующих обслуживания (нет щёточно-коллекторного узла и контактных колец). Что приводит к следствию:

* Повышается ресурс и надёжность электропривода, Наработка на отказ составляет 10000 часов и более.
* Упрощается эксплуатация двигателя.
* Появляется возможность использования вентильного двигателя во взрывоопасной и агрессивной среде.

1. Вентильная коммутация тока в обмотках допускает значительное напряжение между выводами – до нескольких тысяч вольт. Обычный механический коллектор удовлетворительно работает при напряжении между коллекторными пластинами не более 30-32 В (максимальное допустимое 37-42 В).
2. Широкие возможности по регулированию выходных показателей электропривода при относительной простоте реализации системы управления.

* Обеспечивается широкий диапазон регулирования частоты вращения (до 1:10000 и более).
* Имеется возможность оптимизации режимов работы при изменении скорости и нагрузки. Это также способствует повышению ресурса электродвигателя.

1. Большая перегрузочная способность по моменту (кратковременно кратность максимального момента равна 5 и более).
2. Высокие энергетические показатели (КПД и косинус фи).

* КПД вентильных двигателей могут превышать 90%, косинус фи вентильных двигателей – более 0,95.
* КПД вентильного двигателя мало изменяется при изменении нагрузки и при колебаниях напряжения питающей сети.

1. Более низкий перегрев вентильного двигателя по сравнению с асинхронным двигателем при одинаковой мощности и одинаковых размерах.

Недостатки вентильных двигателей:

* Относительно более сложная система управления двигателем.
* Высокая стоимость двигателя при использовании дорогостоящих постоянных магнитов в конструкции ротора.

Для электроприводов постоянного и переменного тока, а также для регулируемых по скорости электроприводов (в дальнейшем сокращённо РЭП) на территории Российской Федерации существует государственный стандарт за номером 27803-91 [4].

Согласно ГОСТ 27803-91 погрешность скорости при изменении температуры окружающей среды обозначается как и определяется при изменении температуры от до и при предварительном прогреве электропривода до установившегося состояния при номинальном значении напряжения питающей сети (для электроприводов главного движения – при номинальном токе) и нагрузке, равной по формуле

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1) |

где − скорость электропривода при температуре , − скорость электропривода при температуре , длительный момент электропривода это крутящий момент на валу электродвигателя, длительно допустимый при скоростях и в соответствии с нагрузочной характеристикой электродвигателя, – наименьшая рабочая скорость, при которой сохраняются параметры электропривода в соответствии с табл. 1 и 5, – наибольшая рабочая скорость электропривода.

Таблица 1 – Допустимые погрешности

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Скорость | Погрешность скорости, %, не более | | | Коэффициент неравномерности вращения , не более |
| суммарная | при изменении нагрузки | при изменении направления вращения |
|  | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,02 |
| 0,1 | 2,0 | 0,75 | 0,75 | 0,05 |
| 0,01 | 5,0 | 2,0 | 2,0 | 0,1 |
| 0,001 | 10,0 | 3,5 | 3,5 | 0,1 |
| 0,0001 | 25,0 | 10,0 | 10,0 | 0,25 |

Примечание: Значения погрешности скорости в пределах поддиапазона изменяются линейно.

Таблица 2 – Абсолютные значения допустимых погрешностей скорости и коэффициента неравномерности

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Скорость | Погрешность скорости, %, не более | | | Коэффициент неравномерности вращения , не более |
| суммарная | при изменении нагрузки | при изменении направления вращения |
|  | 2 | 0,5 | 1 | 0,1 |
| 0,1 | 10 | 2,0 | 2 | 0,1 |
| 0,01 | 15 | 5,0 | 5 | 0,2 |
| 0,001 | 25 | 10,0 | 10 | 0,25 |

Суммарная погрешность скорости вычисляется как сумма максимальных аболютных значений погрешностей при изменении нагрузки , изменении напряжения питающей сети , изменении температуры окружающей среды и собственном прогреве электропривода до установившейся температуры

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

Погрешность скорости при изменении нагрузки определяется при номинальном напряжении питающей сети и температуре окружающего воздуха по формулам:

для электроприводов подачи и роботов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ; | (3) |
|  | ; | (4) |

для электроприводов главного движения

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ; | (5) |
|  | , | (6) |

где , , , , - значения скорости соответственно при моментах нагрузки , , , , . За принимают наибольшую из и . В электроприводах постоянного тока и переменного тока с синхронными двигателями допустимо находить по этим же формулам, но с заменой моментов на соответствующие значения тока двигателя .

Погрешность скорости при изменении направления вращения определяется при холостом ходе электропривода, номинальном напряжении питающей сети и постоянной температуре окружающей среды по формуле

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7) |

где и − величины скорости при фиксированном постоянном управляющем напряжении соответственно при правом и левом направлениях вращения двигателя.

Коэффициент неравномерности вращения определяется при холостом ходе электропривода, номинальном напряжении питающей сети и постоянной температуре окружающей среды по формуле

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8) |

где − максимальное и − минимальное мгновенные значения скорости.

Алгоритм определения приведен на рис.1. Время необходимо для устранения влияния переходных процессов РЭП.

Пуск

Включить РЭП

Сформировать сигнал

Через определить в течение 0,1с с частотой опроса 60 Гц и

Вычислить

Сформировать

Определить

Сформировать массив

Выключить РЭП

Стоп

Сформировать

Да

Нет

Да

Нет

Рис. 5. Алгоритм определения ошибки при реверсе РЭП

**Список литературы**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Киселёв В.И., Копылов А.И., Кузнецов Э.В. Электротехника и электроника. Учебник для вузов. – В 3-х книгах. Книга 2. Электромагнитные устройства и электрические машины. / В.И. Киселёв, А.И. Копылов, Э.В. Кузнецов. – М.: ООО «Торгово-Издательский Дом «Арис»б 2010. – 272 с. |
| [2] | Paul Waide and Conrad U. Brunner. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems Energy Efficiency Series – International Energy Agency. 2011 [Электронный ресурс] URL: <https://energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-energieeffizienz-industriegewerbe/ee_for_electricsystems-2-.pdf> (дата обращения: 17.10.2018) |
| [3] | Сафонов В. В. Сравнительный анализ энергетических характеристик вентильных и асинхронных двигателей. Томский политехнический университет. 2015 [Электронный ресурс] URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/53083589.pdf> (дата обращения: 28.10.2018) |
| [4] | ГОСТ 27803-91. Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов. Дата вступления в силу: 01.01.92. |