**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Санкт-Петербургский государственный**

**электротехнический университет**

**«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

**Кафедра САУ**

**реферат**

**по дисциплине «Акустическое проектирование электроэнергетического оборудования»**

**Тема: АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ШУМОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студент гр. 9492 |  | Викторов А.Д. |
| Преподаватель |  | Доброскок Н.А. |

Санкт-Петербург

2024

**Содержание**

1. Введениe………………………………………………………………….…3
2. Устройство и принцип работы синхронного двигателя………………….5
3. Причины возникновения вибраций…………………………………….....7
4. Алгоритмические методы снижения вибрации и шума……………….....9
5. Список использованной литературы…………………………………….12

**Введение**

Синхронные двигатели широко применяются в современных системах электропривода благодаря их высокой эффективности, точности регулирования скорости и возможности работы с постоянным моментом во всем диапазоне частот вращения. Однако при эксплуатации данных двигателей, особенно в составе высокоточного оборудования, существенную роль играет проблема механических шумов и вибраций, которые могут значительно снижать точность позиционирования и качество выполняемых операций.

Актуальность данной работы обусловлена растущими требованиями к точности и плавности работы электроприводов в современном промышленном оборудовании, где даже минимальные вибрации могут приводить к существенным погрешностям в работе систем. Особую значимость проблема приобретает в таких областях, как прецизионное станкостроение, робототехника, медицинское оборудование и космическая техника.

Основные проблемы, возникающие из-за вибраций синхронного двигателя в высокоточном оборудовании:

1. Механические проблемы:

* Ускоренный износ подшипников и других механических компонентов
* Возникновение резонансных явлений в конструкции
* Нарушение центровки вала
* Повышенные механические напряжения в элементах конструкции

1. Технологические проблемы:

* Снижение точности позиционирования рабочего органа
* Ухудшение качества обработки поверхности в станках
* Появление погрешностей при измерительных операциях
* Нестабильность скорости вращения

1. Эксплуатационные проблемы:

* Повышенный уровень шума
* Увеличение энергопотребления
* Сокращение срока службы оборудования
* Необходимость более частого технического обслуживания

Целью данной работы является исследование и разработка алгоритмических методов снижения шумов и вибраций синхронного двигателя, применяемого в высокоточном оборудовании. Особое внимание уделяется программным решениям, позволяющим минимизировать механические колебания без существенного изменения конструкции привода.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ источников возникновения шумов и вибраций в синхронных двигателях
2. Исследование существующих методов подавления вибраций
3. Разработка алгоритмических методов компенсации механических колебаний
4. Создание математической модели системы управления с учетом вибрационных воздействий
5. Практическая реализация и проверка эффективности предложенных решений

## Устройство и принцип работы синхронного двигателя

## Конструктивные особенности синхронного двигателя

Синхронный двигатель состоит из следующих основных частей:

1. Статор:

* Магнитопровод из электротехнической стали
* Трехфазная обмотка, уложенная в пазы статора
* Корпус с элементами крепления и охлаждения

1. Ротор:

* Сердечник из магнитомягкой стали
* Обмотка возбуждения (или постоянные магниты в бесщеточных двигателях)
* Вал с подшипниковыми узлами
* Контактные кольца и щетки (в двигателях с электромагнитным возбуждением)

1. Вспомогательные элементы:

* Подшипниковые щиты
* Система охлаждения
* Датчики положения ротора
* Клеммная коробка

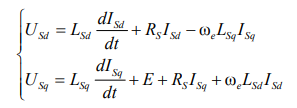
## Принцип работы синхронного двигателя

Принцип работы синхронного двигателя основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора с магнитным полем ротора. При подаче трехфазного напряжения на обмотки статора создается вращающееся магнитное поле, частота вращения которого определяется частотой питающего напряжения и числом пар полюсов двигателя: n₀ = 60f/p

где:

* n₀ - синхронная частота вращения (об/мин)
* f - частота питающего напряжения (Гц)
* p - число пар полюсов

Уравнение равновесия статора СДПМ:



На рисунке 1 показано внутреннее устройство СДПМ.

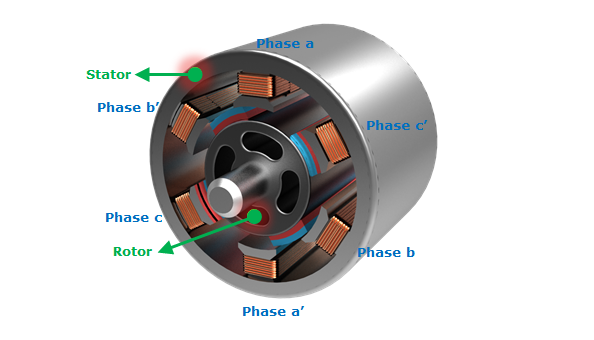


Рисунок 1 - Внутреннее устройство СДПМ

## Причины возникновения вибраций

## Электромагнитные причины вибраций

1. Несимметрия магнитного поля:

* Неравномерность воздушного зазора
* Несинусоидальность распределения магнитной индукции
* Зубцовые гармоники магнитного поля
* Эксцентриситет ротора

1. Пульсации электромагнитного момента:

* Высшие гармоники тока статора
* Коммутационные процессы в системе управления
* Несимметрия питающего напряжения
* Несовершенство алгоритмов управления инвертором

## Механические причины вибраций

1. Дисбаланс ротора:

* Неравномерное распределение масс
* Деформация вала
* Несоосность сборки
* Температурные деформации

1. Подшипниковые вибрации:

* Дефекты изготовления подшипников
* Износ подшипников
* Нарушение смазки
* Перекос внутреннего или внешнего кольца

1. Резонансные явления:

* Совпадение частот собственных колебаний с частотами возмущающих сил
* Механические резонансы конструкции
* Крутильные колебания вала

## Технологические причины вибраций

1. Производственные дефекты:

* Неточности изготовления деталей
* Погрешности сборки
* Некачественная балансировка ротора
* Дефекты сварных соединений

1. Эксплуатационные факторы:

* Неравномерный износ деталей
* Ослабление креплений
* Загрязнение элементов конструкции
* Нарушение центровки при монтаже

Некоторые алгоритмические способы уменьшения вибраций СДПМ будут рассмотрены далее.

**Алгоритмические методы снижения вибрации и шума**

Модернизация системы управления электроприводом является ключевым подходом к снижению вибрации и шума, вызванных неравномерностью крутящего момента. Основные направления модернизации включают:

1. Векторное управление с ориентацией по полю (FOC) [1]:

Обеспечивает независимое управление магнитным потоком и моментом двигателя. Позволяет минимизировать пульсации момента за счет точного контроля токов статора.

На рисунке 2 представлена структурная схема системы векторного управления для трехфазного СДПМ.

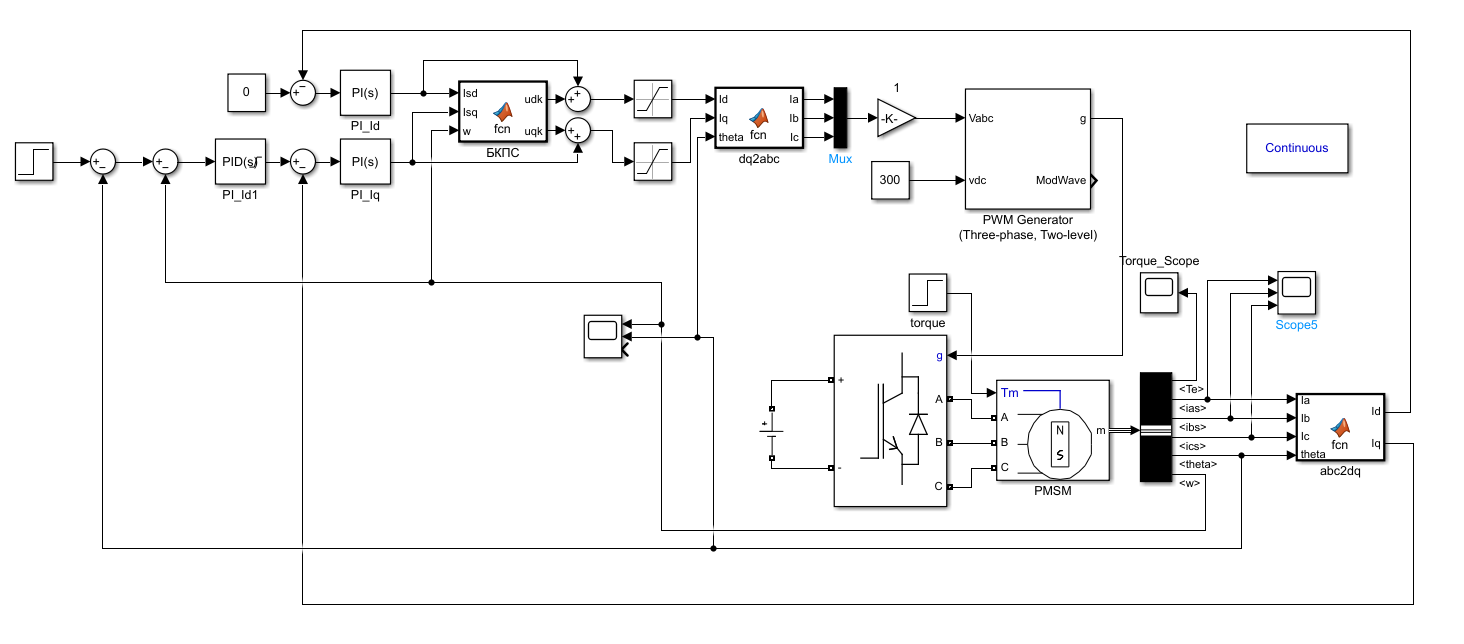


Рисунок 2 - Система управления СДПМ ориентированная по полю ротора.

1. Изменение формы тока с целью уменьшения пульсаций момента и изменения величины радиальных сил [2]:

Для уменьшения пульсаций электромагнитного момента предлагается изменять амплитуду питающих токов для первой гармоники таким образом, чтобы в любой момент времени электромагнитный момент, создаваемый двигателем, был равен заданному. При этом зависимости токов от угла поворота ротора для каждой фазы статора будут определяться следующим образом:



где *Im(α)* – модулированная амплитуда тока; *θ* – угол нагрузки, *m* – число фаз.

На рисунке 3 представлены кривые изменения мгновенны фазных токов трехфазного СДПМ.

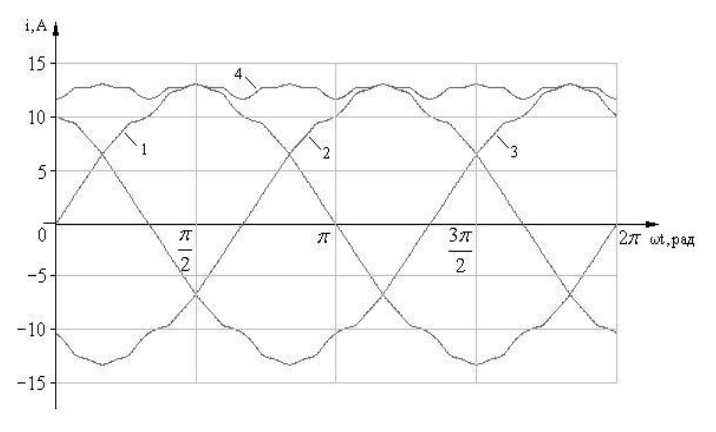


Рисунок 3 - Кривые изменения мгновенны фазных токов трехфазного СДПМ.

На рисунке 4 можно увидеть сравнение кривых моментов при управлении с компенсацией пульсаций и без.

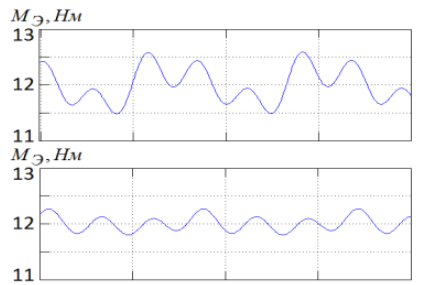


Рисунок 4 - Графики электромагнитного момента 3х-фазного СДПМ с разными системами управления: а) подчиненного регулирования; б) подчиненного регулирования с блоком расчета задания на ток;

**Заключение**

На данный момент в мире проводится большое число исследований в области управления синхронными двигателями, часть из этих исследований направлена непосредственно на снижение виброшумовых характеристик электродвигателя.

**Список использованной литературы**

* 1. Калачев Ю.Н., Самохвалов Д.В. Основы регулируемого электропривода (Антиучебник). – М.: ДМК Пресс, 2023. – 236 с.: ил.
  2. Алейников А. В. разработка методов снижения пульсаций электромагнитных виброусилий в многофазном магнитоэлектрическом электроприводе: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Иваново, 2022. — 20 с.