

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривод и электрооборудование

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Математическое моделирование вентильного электропривода колебательного движения при потенциальной фазовой модуляции

УДК 62-83-523:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Неустроева А.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Аристов А.В.	Д.т.н.,		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Трофимова М.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Дашковский А.Г.	К.т.н.,		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., доцент		

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – ЭНИН

Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Кафедра – Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Дементьев Ю.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Г2Б	Неустроева Айтилина Васильевна

Тема работы:

Математическое моделирование вентильного электропривода колебательного движения при потенциальной фазовой модуляции

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	?
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	?
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Основное исследование	Аристов А.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Трофимова М.Н.
Социальная ответственность	Дашковский А.Г.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Аристов А.В.	Д.Т.Н.,		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Г2Б	Неустроева А.В.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 117 страниц, 30 таблиц, 55 рисунков, 18 источников.

Объектом исследования является вентильный электропривод колебательного движения вала при потенциальной фазовой модуляции.

Цель работы – исследование вентильного электропривода с прерывистым законом движения, соответствующего условиям технического задания.

При оформлении дипломного проекта были использованы программы:

- Microsoft Office Word
- Microsoft Office Excel
- Microsoft Office Visio
- MathCad 15
- Matlab Simulink

В результате выполнения работы была смоделирована и исследована система вентильного электропривода с прерывистым режимом работы при потенциальной фазовой модуляции.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010. Отчет распечатан на белых листах формата А4.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Исходные данные:

1. Двигатель ДБМ185-6-0,2-2

Тип машины	Момент ном. (Н·м)	Число пар полюсов	Число фаз	Сопр. фазы (Ом)	Эл. маг. пост. времени (мс)	Ток кор. зам. (А)	Момент кор. зам. (Н·м)	Скорость холостого хода (об/мин)	Тепловое сопр. (град/Вт)	Момент инерции (кг·м ²)	Масса (кг)
ДБМ185-6-0,2-2	4	8	2	2,64	1,4	10,2	11,5	195	0,15	9e-3	5,4

2. Диапазон изменения частоты шага $f_{кол} = \Omega \frac{1}{2\pi} = 2..10$ гц; (2, 4, 6, 8,

10)

3. Диапазон изменения нагрузки $j_n = (2, 4, 6, 8, 10)j_d$

4. Диапазон изменения демпфирующей нагрузки $r_{демп} = 0..2$ о.е.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ПРЕРЫВИСТЫМ ЗАКОНОМ ДВИЖЕНИЯ	8
1.1. Принципы построения и технические требования, предъявляемые к электроприводам с прерывистым законом движения.....	8
1.2. Выбор функциональной схемы электропривода с колебательным движением вала	15
II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПРЕРЫВИСТЫМ ЗАКОНОМ ДВИЖЕНИЯ.	18
2.1. Математическое описание вентильного двигателя в режиме колебательного движения.	18
2.2. Расчет коэффициентов математической модели	20
2.3. Математическая модель электропривода с прерывистым законом движения в прикладном пакете MATLAB Simulink	20
2.4. Построение рабочих характеристик.....	22
III. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И НАГРУЗКИ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА .	25
3.1. Влияние параметров нагрузки на выходные характеристики электропривода с прерывистым законом движения	25
3.2. Оценка динамических характеристик вентильного электропривода колебательного движения	28
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
Список использованной литературы.....	32

Введение

Электропривод – электромеханическое устройство, которое приводит в движение машину или механизм. Состоит обычно из источника энергии, передаточного механизма и аппаратуры управления.

Народное хозяйство в больших количествах использует устройство, рабочий орган которых выполняет возвратно-поступательное, возвратно-колебательное или другое колебательное движение. Наиболее широко используемым приводом инструмента, выполняющим колебательные движения, являются электроприводы поступательного или вращательного движения, использующие для получения различных колебаний редукторы или механические преобразователи. Сложность регулирования, большая металлоемкость и потери энергии принуждают искать различные пути регулирования без механических редукторов.

Решением задачи получения колебательного движения без редукторов является конструирование управляемого электромашинного безредукторного привода на основе обычных электродвигателей поступательного и вращательного движения, которые работают в режиме колебания.

Такие электроприводы не только не уступают, но и часто намного лучше по эксплуатационно-техническим параметрам электромагнитных, гидравлических, электродинамических и других традиционных неэлектромашинных типов виброэлектроприводов.

I. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

1.1 Принципы построения и технические требования, предъявляемые к электроприводам с прерывистым законом движения

В настоящее время существует достаточно большое количество электроприводов углового движения с прерывистым движением вала и с различной функционально-структурной организацией. В специальном технологическом оборудовании, в приборах и периферийных устройствах ЭВМ многие движения имеют периодический (прерывистый) характер, например, повороты каруселей, перемещения позиций конвейерного оборудования и транспортеров автоматических линий, движения загрузочных устройств, механизмы подачи ленты (бумажной), делительные устройства, механизмы подачи на шаг и т. д. Периодические перемещения рабочих органов могут происходить по прямолинейной или круговой траектории.

Технических решений и научно обоснованных рекомендаций, которые позволяют на «ходу», в течение технологического процесса, программно регулировать прерывистое движение вала, осуществлять автономное регулирование частоты или усилия практически, в данное время практически не существует. Проводимые в этом направлении исследования, связанные с разработкой принципиально новых технологических решений, неизбежно приводят к усложнению создаваемого привода, синтезу новых законов управления, возрастанию сложности решения задачи обеспечения высоких статических и динамических показателей.

Ряд технологических операций, выполняемых с использованием колебательного движения рабочего инструмента, отнесен к определенной отрасли народного хозяйства условно. Это, в частности, относится к таким операциям многоотраслевого назначения, как вибротранспортирование, вибросортировка, вибросмещение, виброизмельчение и виброударное

бурение. В таблице 1.1 представлены сведения о наиболее распространенных областях применения электроприводов колебательного движения и их технические требования.

Как известно, колебания рабочего органа в существующих оборудованных создаются механической частью, но невозможно регулировать параметры вибрации «на ходу». Колебательный режим должен регулироваться, так как правильные подобранные параметры намного снижают усилие обработки, повышают стойкость инструмента, улучшают качество изделий и значительно увеличивают производительность труда. Колебания рабочего инструмента для большинства технологических операций однокоординатны и могут быть гармоническими, трапецеидальными, пилообразными и т.д.

Современные электроприводы колебательного движения кроме обеспечения плавного регулирования на ходу амплитуды, частоты и фазы во всей или части области потребных колебаний рабочего инструмента: по линейным координатам – 10^{-3} - $2 \cdot 10^4$ Гц, 10^{-7} – 3 м, $2 \cdot 10^{-7}$ – 10^4 м/с, 10^{-1} – 10^{-6} Н, по угловым координатам – 10^{-2} - $4 \cdot 10^2$ Гц, 10^{-3} – 10^4 м, $2 \cdot 10^{-2}$ - $5 \cdot 10^4$ рад/с², 10^{-4} – 10^3 кг·м – и их стабилизацию с точностью до 1% по амплитуде, 0,1% по частоте и 2° по фазе, должны еще и создавать многократные колебания различных законов.

Таблица 1.1. Области применения электроприводов колебательного движения и технические требования, предъявляемые к ним

Область применения	Технологическая операция	Параметры линейного и углового режима колебаний*					Параметры нагрузки	
		Частота, Гц	Амплитуда, $\frac{10^{-3} \text{ м}}{\text{град}}$	Ускорение, $\frac{\text{м/с}^2}{\text{рад}\cdot\text{с}^2}$	Закон колебаний **	Искажение, %	Масса, кг	Активная мощность, кВт
							Момент инерции, кг·м ²	
Машиностроение	Виброточение	1 – 2·10 ⁴	5·10 ⁻⁴ –10	1– 10 ⁴	ГН	-	0,1 – 1	0,5 – 2
	Виброфрезирование	10 – 2·10 ⁴	10 ⁴ – 2·10 ⁻²	0,5– 10 ⁴	ГН	-	0,1 – 1	0,5 – 2
	Виброшлифование	10 – 2·10 ⁴	10 ⁻⁴ – 2·10 ⁻²	0,5–10 ⁴	ГН	-	0,1–1	0,5 – 2
		0,1–50	0,1–180	2–2·10 ³	ГН	-	10 ⁻⁵ – 10 ⁻³	0,5 – 2
	Нарезание резьб	10 – 2·10 ⁴	10 ⁻⁴ – 2·10 ⁻²	0,5– 10 ⁴	ГН	-	0,1– 1	0,5– 2
	Вибросверление	50 – 100	10 ⁻³ –0,1	1 – 40	ГН	-	0,1 – 1	0,5 – 2
	Вибросварка	10 – 100	1–10	4 – 400	ГН	-	0,5 – 3	0,2 – 2
	Виброобкатка	20 – 120	0,2 – 8	10 ² – 1,5·10 ²	ГН	30	0,1 – 0,5	0,12 – 1,2
	Виброгалтовка	1 – 60	0,5 – 10	0,5 – 70	Г, СД	-	1 – 10 ²	0,5 – 20
	Литье в формы	1 – 2·10 ³	10 ⁻² –10 ²	4 – 1,5·10 ³	С	-	1 – 12	1 – 20
Перемешивание	10 ⁻² – 10 ²	1 – 10 ³	4·10 ⁴ – 4·10 ²	Г	-	1 – 10 ³	0,5 – 50	
Строительство	Виброуплотнение	50 – 350	10 ⁻² – 1	10 – 10 ³	ПГ	-	-	0,6 – 11
	Вибропогружение	5 – 40	1 – 15	1 – 10 ³	С	-	-	10 – 100
	Вибродробление	50 – 300	0,1 – 5	10 – 10 ³	С	-	1 – 10 ²	0,4 – 2
	Прокладка труб	15 – 45	15 – 93	1,5·10 ² –	С	-	-	1 – 10
	Транспортировка	5 – 350	0,5 – 50	1,5·10 ³ 10 – 10 ³	ПГ	-	1 – 10 ²	0,4 – 1
Горная промышленность	Вибровыпуск руды	8 – 200	0,5 – 10	50 – 2·10 ³	С	-	10 ² – 10 ⁴	2 – 50
	Отделение руды	15 – 100	2 – 40	2 – 2·10 ³	С	-	-	3·10 ⁻² – 1,5
	Вибробурение	5 – 47	1 – 5	1,5 – 150	С	-	-	1 – 15
	Сейсморазведка	3 – 150	10 ³ – 10 ⁶	2 – 2·10 ³	Г	30	-	1 – 50
Сельское	Вибросортировка	10 – 50	1 – 5	5 – 500	ГД	-	10 – 10 ²	1 – 10

хозяйство	Вибромолот	25 – 50	5 – 10	$10^2 - 10^4$	С	-	$10 - 10^2$	1 – 10
	Вибровспашка	10 – 20	10 – 25	40 – 400	С	-	-	1 – 10
	Виброуборка плодов	3 – 10	5 – 25	2 – 100	С	-	-	1 – 10
Химическая промышленность	Вибросмешение	3 – 25	10 – 90	$4 - 2 \cdot 10^3$	С	-	$0,1 - 10^2$	0,2 – 5
	Виброизмельчение	25 – 100	0,2 – 5	5 – 500	С	-	$0,1 - 10^2$	0,1 – 1
	Вибросушка	25 – 100	0,5 – 3	15 – 300	С	-	$0,1 - 10^2$	0,1 – 1
	Виброочистка газов	25 – 50	1 – 5	$25 - 10^4$	С	-	-	0,1 – 0,8
Текстильная промышленность	Прокидка челноков	3 – 7	$3 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^3$	$10^3 - 2 \cdot 10^4$	П	-	$5 \cdot 10^{-2} - 10^{-1}$	0,4 – 0,85
	Ракладка нити при намотке	2 – 50	25 – 600	$10^2 - 2,5 \cdot 10^4$	<u>ПН</u>		$2 \cdot 10^{-2} - 10^{-1}$	0,12 – 0,6
		0,1 – 0,5	10 – 170	0,8 – 15	ПН		$10^{-7} - 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-2} - 0,2$
Испытательная техника	Калибровочное вибровозбуждение	<u>0,1 – 30</u>	<u>$10^{-2} - 10^3$</u>	<u>$5 - 5 \cdot 10^3$</u>	<u>Г</u>	<u>0,5</u>	<u>$5 \cdot 10^{-2} - 2$</u>	<u>0,1 – 1</u>
	Силовое возбуждение	1 – 50	$2 \cdot 10^{-2} - 60$	$2 - 2 \cdot 10^3$	Г	0,5	$10^{-7} - 10^{-6}$	0,05 – 0,2
		0,1 – 10^3	$5 - 1,2 \cdot 10^4$	5 – 500	Г	3	-	0,1 – 10
	Вибропрочность	<u>$5 - 10^3$</u>	<u>$2 \cdot 10^{-2} - 20$</u>	<u>$1 - 10^3$</u>	<u>Г</u>	<u>20</u>	<u>$2 - 200$</u>	<u>1 – 46</u>
		8 – 400	$5 \cdot 10^{-2} - 10$	$50 - 10^4$	Г	20	$10^{-7} - 10^{-4}$	0,2 – 2
	Виброустойчивость	$5 - 10^4$	$10^{-3} - 10$	50 – 500	Г	20	2 – 200	1 – 46
	Качание по частоте	$0,5 - 10^3$	0,1 – 10	10 – 500	Г	20	1 – 20	0,2 – 2
	Моделирование вибронагрузок	<u>25 – 100</u>	<u>0,1 – 2</u>	<u>2 – 800</u>	<u>Г</u>			<u>0,1 – 2</u>
		25 – 100	1 – 10	$5 \cdot 10^2 - 10^4$	П			0,2 – 1,6
	Бытовая техника	Вибропривод	0,5 – 5	1 – 5	$2 \cdot 10^{-2} - 5$	ПГ	-	$10^{-4} - 10^{-2}$
Холодильники		25 – 100	2 – 20	$50 - 10^3$	Г	-	$10^{-2} - 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3} - 10^{-1}$
Игрушки		0,1 – 5	1 – 10	$10^{-3} - 10$	Г	-	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-4} - 10^{-2}$
Реклама		0,1 – 2	$10 - 10^3$	$4 \cdot 10^{-3} - 160$	Г	-	$5 \cdot 10^{-2} - 5$	$10^{-3} - 1$
Техника измерения, контроля и управления	Оптико-механическое сканирование	<u>1 – 10</u>	<u>$5 \cdot 10^2 - 10^3$</u>	<u>$40 - 2 \cdot 10^3$</u>	<u>Г</u>	<u>3</u>	<u>$5 \cdot 10^{-2} - 1$</u>	<u>0,1 – 0,8</u>
	Фотоэлектродориметрирование	$10^{-2} - 10^2$	0,1 – 10^4	$2 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^3$	Г	3	$10^{-6} - 10^{-2}$	0,2 – 0,6
		0,5 – 2	$5 \cdot 10^2 - 10^3$	5 – 160	<u>Г</u>	<u>15</u>	<u>$5 \cdot 10^{-2} - 0,1$</u>	<u>$10^{-2} - 0,1$</u>
		0,5 – 2	30 – 150	$25 - 10^2$	Г	15	$2 \cdot 10^{-7} - 10^{-5}$	$10^{-2} - 0,1$
	Колебательная				<u>Г</u>			

модуляция излучения	$\frac{1-10^3}{0,1-10^2}$	$\frac{10^{-1}-20}{0,5-10^4}$	$\frac{1-4\cdot 10^3}{0,4-4\cdot 10^3}$	Г	$\frac{10}{10}$	$\frac{10^{-2}-10^{-1}}{10^{-9}-10^{-7}}$	$\frac{10^{-2}-0,1}{10^{-3}-5\cdot 10^{-2}}$
Генерирование	$10^{-3}-10^{-1}$	5-50	$2\cdot 10^{-7}-2\cdot 10^{-2}$	Г	5	$5\cdot 10^{-2}-0,5$	$10^{-2}-0,1$
Стабилизация движения	$\frac{5-50}{10-30}$	$\frac{0,5-5}{1-15}$	$\frac{0,5-5\cdot 10^{-2}}{10^3-10^4}$	П, Г	-	$\frac{10^{-2}-5\cdot 10^{-1}}{10^{-7}-10}$	$\frac{5\cdot 10^{-2}-0,1}{10^{-3}-0,1}$
Виброориентирование	0,1-10	1-180	$0,5-5\cdot 10^4$	Г	-	$10^{-9}-10^{-7}$	$10^{-3}-10^{-2}$
Измерение и управление	25-100	0,5-3	$50-5\cdot 10^2$	ГН	10	$5\cdot 10^{-2}-5\cdot 10^{-3}$	$5\cdot 10^{-3}-10^{-1}$
Измерение люфтов	1-10	$10^{-3}-1$	$10^{-1}-4\cdot 10^3$	П	5	$10^{-4}-10^{-7}$	$10^{-3}-10^{-2}$
Вибролинеаризация	25-100	$10^{-2}-10$	$1-10^3$	Г	-	$10^2-5\cdot 10^{-1}$	$5\cdot 10^{-3}-10^{-1}$
Виброзащита	$1-10^3$	0,1-20	$1-10^3$		-	0,5-10	0,1-2

* Параметры углового режима колебаний указаны в знаменателе дроби

** Для закона колебаний приняты следующие сокращения: Г – гармонический; ГН – гармонический со смещением нейтрали; ГД – гармонический двухкоординатный; ПГ – полигармонический; П – пилообразный; ПН – пилообразный со смещением нейтрали; С – случайный.

Примерно 50 лет назад начались попытки возбуждения и использования колебательных режимов работы электродвигателей вращательного и поступательного движения. Изначально широко применялись только асинхронные электродвигатели, позднее появились электроприводы с шаговыми, синхронными двигателями, двигателями постоянного тока, однако и в настоящее время наиболее распространены в таких приводах АД вращательного и линейного движения. Но асинхронный привод не обеспечивает требуемого быстродействия и точности.

Общая классификация электроприводов с электродвигателями поступательного и вращательного движения, работающих в колебательных режимах без механических преобразователей показана на рис.1.1.

Замкнутые системы электроприводов с последовательно соединенными генератором и двигателем постоянного тока легко реализуются на серийных электрических машинах, но они не обеспечивают широких диапазонов регулирования параметров режима колебаний.

Принцип слежения за периодическим сигналом может осуществляться либо на основе питания переменным током (напряжением) якорной обмотки или обмотки возбуждения электродвигателя постоянного тока, либо использованием питания модулированным током (напряжением) двигателей переменного тока, либо с помощью периодического импульсного управления шаговыми электродвигателями.

Подобные приводы обеспечивают колебания выходного вала (штока) по самым разнообразным законам, позволяют плавно, с высокой точностью и в широких пределах регулировать параметры режима колебаний, но необходимость иметь хорошо управляемое задающее устройство периодических сигналов заданной формы сильно усложняет их.

Наиболее простыми в техническом исполнении являются системы разомкнутого типа. Они могут быть построены с вынужденным периодическим реверсом электромагнитного усилия путем специального

питания электродвигателей или с самореверсом. Реверс может быть мягким и жестким.

В большинстве электроприводов колебательного движения с мягким вынужденным реверсом используются те же принципы, что и в следящих электроприводах колебательного движения: питание переменным напряжением обмоток якоря или возбуждения двигателя постоянного тока, применение различных видов модуляции напряжения питания.

Наиболее целесообразно использование линейной фазовой модуляции, которая, например, у АД. Фазовый способ позволяет получить диапазоны плавного регулирования амплитуды, частоты и положения нейтрали колебаний до четырех порядков, дает возможность создать колебания самых различных законов без специальных задающих устройств периодических сигналов.

Жесткие условия работы, ударные нагрузки на механическую часть и необходимость получения значительных ускорений (до 1000 рад/с^2) современных вибромашин резко ограничивают область реализации электропривода. Очевидно, что асинхронный привод не обеспечивает требуемого быстродействия и точности, а электромеханические преобразования с постоянными магнитами - требуемой прочности и живучести.

Наиболее целесообразным, с практической точки зрения, в условиях решаемых задач, является использование вентильно-индукторного двигателя (ВИД). Он помимо простоты конструкции, высокой прочности и технологичности обладает низкой себестоимостью и включает всю полноту возможностей управления. А основной недостаток ВИД – высокие пульсации тяговых характеристик, при использовании его в виброприводах промышленных механизмов становится его главным преимуществом.

Вентильный двигатель - электромеханическая система, которая состоит из электрической машины и полупроводникового коммутатора фазных обмоток, управление ключами которого производится системой

управления, зависящей от положения ротора. Для того, чтобы двигатель вращался устойчиво, необходимо, чтобы он развивал однонаправленный вращающий момент с минимумом пульсаций. Минимум пульсаций момента будет способствовать плавности хода двигателя. В обмотку якоря от источника питания подается ток. В зависимости от распределения тока по катушкам в зубцовой зоне статора образуется полюсная система статора (электромагниты), создающие магнитный поток (поле) статора. Магнитный поток возбуждения создается либо постоянными магнитами, либо обмоткой возбуждения. Электромагнитный момент образуется при взаимодействии магнитного потока возбуждения и фазных токов. При совместном действии потоков возбуждения и потоков от токов статора силовые линии магнитного поля в воздушном зазоре изгибаются. При повороте ротора происходит переключение обмоток, вектор потока статора поворачивается на следующий шаг, и ротор продолжает синхронно вращаться с полем.

1.2. Выбор функциональной схемы электропривода с колебательным движением вала.

Возможность регулирования параметров колебания позволяет применять электроприводы с колебательным движением вала в машиностроении, строительной индустрии, металлургии, горной и лакокрасочной индустрии. Чтобы вентильный двигатель устойчиво вращался, необходимо, чтобы он развивал однонаправленный вращающий момент с минимумом пульсаций. Минимум пульсаций момента будет способствовать плавности хода двигателя. В обмотку якоря от источника питания подается ток. В зависимости от распределения тока по катушкам в зубцовой зоне статора образуется полюсная система статора (электромагниты), создающие магнитный поток (поле) статора. Магнитный поток возбуждения создается либо постоянными магнитами, либо обмоткой возбуждения. Электромагнитный момент образуется при взаимодействии магнитного потока возбуждения и фазных токов.

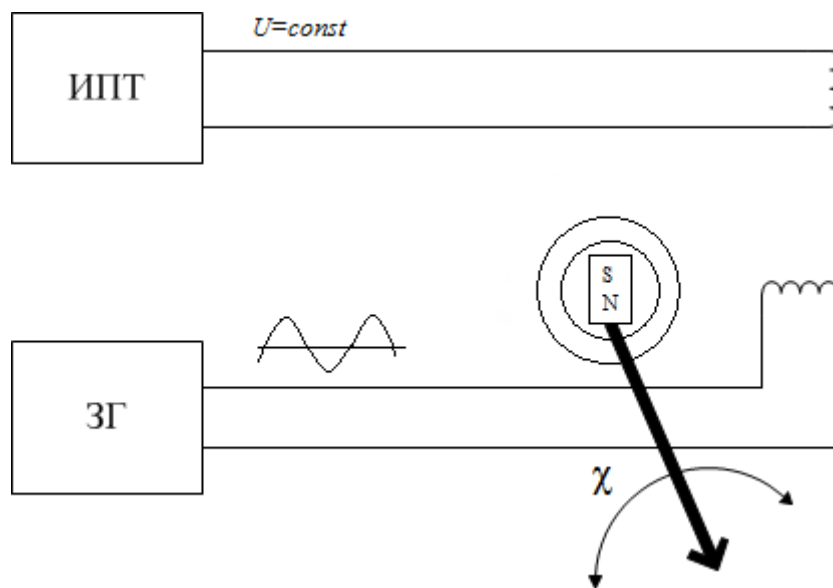


Рисунок 1.2. Функциональная схема электропривода с колебательным движением вала.

Функциональная схема включает в себя:

- источник постоянного тока ИПТ;
- задающий генератор ЗГ;
- вентильный двигатель.

II. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОЛЕБАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Сложность реальных физических процессов, протекающих в управляемых электромеханических системах, требует некоторой идеализации и упрощения при их описании. При этом возникает задача: выделить из всей совокупности свойств, признаков и взаимосвязей основные, наиболее существенные и не учитывать второстепенные, мало влияющие на исследуемые процессы; тщательно и аргументировано обосновать допущения, при которых осуществляются анализ и описание процессов в системе.

Иными словами необходимо составить математическую модель электромеханического преобразователя энергии, явления в которой описывались бы теми же уравнениями, что и в реальной системе. Модели принято представлять в виде системы дифференциальных уравнений, записанной относительно изображений переменных. Выбор переменных обусловлен начальными условиями, целями и задачами исследований.

2.1. Математическое описание ВД в режиме колебательного движения

Модель вентильной машины во вращающейся системе координат

При анализе вентильной машины обычно используется вращающаяся со скоростью ротора система координат.

Связь между вращающейся и неподвижной системами координат рассмотрена ниже.

$$\vec{i}_{S.Bp} = \vec{i}_{S.H} \cdot e^{-j\omega t}, \quad i_d = i_{S\alpha} \cdot \cos \omega t + i_{S\beta} \cdot \sin \omega t, \quad i_q = i_{S\beta} \cdot \cos \omega t - i_{S\alpha} \cdot \sin \omega t$$
$$\vec{i}_{S.H} = \vec{i}_{S.Bp} \cdot e^{j\omega t}, \quad i_{S\alpha} = i_d \cdot \cos \omega t - i_q \cdot \sin \omega t, \quad i_{S\beta} = i_q \cdot \cos \omega t + i_d \cdot \sin \omega t \quad (2.1.1)$$

При переходе к вращающимся координатам уравнение электрического равновесия преобразуется к виду:

$$\vec{u}_s = R_s \cdot \vec{i}_s + L_s \cdot \frac{d\vec{i}_s}{dt} + j \cdot \omega \cdot L_s \cdot \vec{i}_s + j \cdot \omega \cdot \vec{\Phi}_0 \quad (2.1.2)$$

Разложив результирующие вектора электромагнитных переменных состояния по осям d и q , получим скалярное описание машины. При этом ось d совмещается с осью потока ротора (см. рис. 2).

$$\left. \begin{aligned} u_d &= R_s \cdot i_d + L_s \cdot \frac{di_d}{dt} - \omega \cdot L_s \cdot i_q \\ u_q &= R_s \cdot i_q + L_s \cdot \frac{di_q}{dt} + \omega \cdot L_s \cdot i_d + \omega \cdot \Phi_0 \\ M &= \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot i_q \\ J \cdot \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_n \end{aligned} \right\} \quad (2.1.3)$$

где принято

$$\vec{u}_s = u_d + j \cdot u_q, \quad \vec{i}_s = i_d + j \cdot i_q, \quad \vec{\Phi}_0 = \Phi_0. \quad (2.1.4)$$

При анализе снова вводятся относительные переменные. В качестве базовых величин принимаются:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot U_\phi, \quad I_b = \frac{U_b}{R_s}, \quad \omega_b = \frac{U_b}{\Phi_0}, \quad M_b = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot I_b \quad (2.1.5)$$

В относительных величинах уравнения (2.1.3) запишутся в виде:

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_d &= \bar{i}_d + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_d}{dt} - \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_q \\ \bar{u}_q &= \bar{i}_q + \bar{T}_s \cdot \frac{d\bar{i}_q}{dt} + \bar{\omega} \cdot \bar{T}_s \cdot \bar{i}_d + \bar{\omega} \\ \bar{T}_m \cdot \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= \bar{m} - \bar{m}_n, \quad \bar{m} = \bar{i}_q \end{aligned} \right\} \quad (2.1.6)$$

где относительные переменные и параметры определены выражениями:

$$\bar{u} = \frac{\vec{u}}{U_b}, \quad \bar{i} = \frac{\vec{i}}{I_b}, \quad \bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_b}, \quad \bar{m} = \frac{M}{M_b}, \quad \bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s}, \quad \bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b}, \quad \bar{t} = \omega_b \cdot t \quad (2.1.7)$$

2.2. Расчет коэффициентов модели

Расчёт относительных переменных и параметров для двигателя ДБМ185-6-0,2-2

Базовые величины определяются по зависимостям:

$$U_b = \sqrt{2} \cdot U_\phi = \sqrt{2} \cdot I_\kappa \cdot R_s = \sqrt{2} \cdot 10,2 \cdot 2,64 = 38,08 \text{ В}$$

$$I_b = \frac{U_b}{R_s} = \frac{38,08}{2,64} = 14,424 \text{ А}$$

$$\omega_b = p \cdot \omega_{m0} = 8 \cdot 20,41 = 163,281 / \text{с}$$

$$\Phi_0 = \frac{U_b}{\omega_b} = \frac{38,08}{163,28} = 0,233 \text{ Вб}$$

$$M_b = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Phi_0 \cdot I_b = \frac{3}{2} \cdot 8 \cdot 0,233 \cdot 14,424 = 40,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Относительные параметры:

$$\bar{T}_s = \frac{\omega_b \cdot L_s}{R_s} = 163,28 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} = 0,23 \text{ с}$$

$$\bar{T}_m = \frac{J \cdot \omega_b^2}{M_b} = \frac{9 \cdot 10^{-3} \cdot (163,28)^2}{40,33} = 1,47 \text{ с}$$

2.3. Математическая модель электропривода колебательного движения в прикладном пакете MATLAB

Для моделирования электропривода колебательного движения в прикладном пакете MATLAB используем систему уравнений 2.1.6 в относительных единицах. Полная имитационная модель вентильного электропривода с колебательным законом движения вала будет иметь вид, который представлен на рисунке 2.3.1.

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_d &= \bar{i}_d + \bar{T}_S \cdot \frac{di_d}{dt} - \bar{\omega} \cdot \bar{T}_S \cdot \bar{i}_q \\ \bar{u}_q &= \bar{i}_q + \bar{T}_S \cdot \frac{di_q}{dt} + \bar{\omega} \cdot \bar{T}_S \cdot \bar{i}_d + \bar{\omega} \\ \bar{T}_m \cdot \frac{d\bar{\omega}_m}{dt} &= \bar{m} - \bar{m}_n, \bar{m} = \bar{i}_q \end{aligned} \right\} (2.1.6)$$

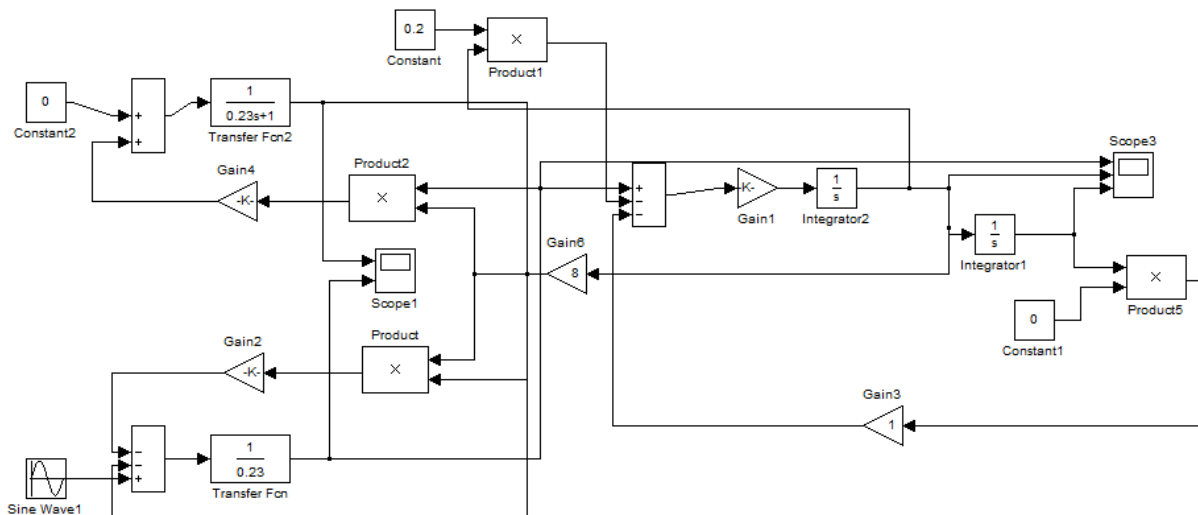


Рисунок 2.3.1 Имитационная модель вентильного двигателя

На рисунке 2.3.2 верхние характеристики соответствуют электромагнитному моменту (M), вторые – скорости (ω) и последние – положению координаты подвижного элемента привода (χ), снятые при $C_{MEX} = 0$; $R_{MEX} = 0,2$ и $L_{MEX} = 0,68$ представлена на рисунке 2.3.2

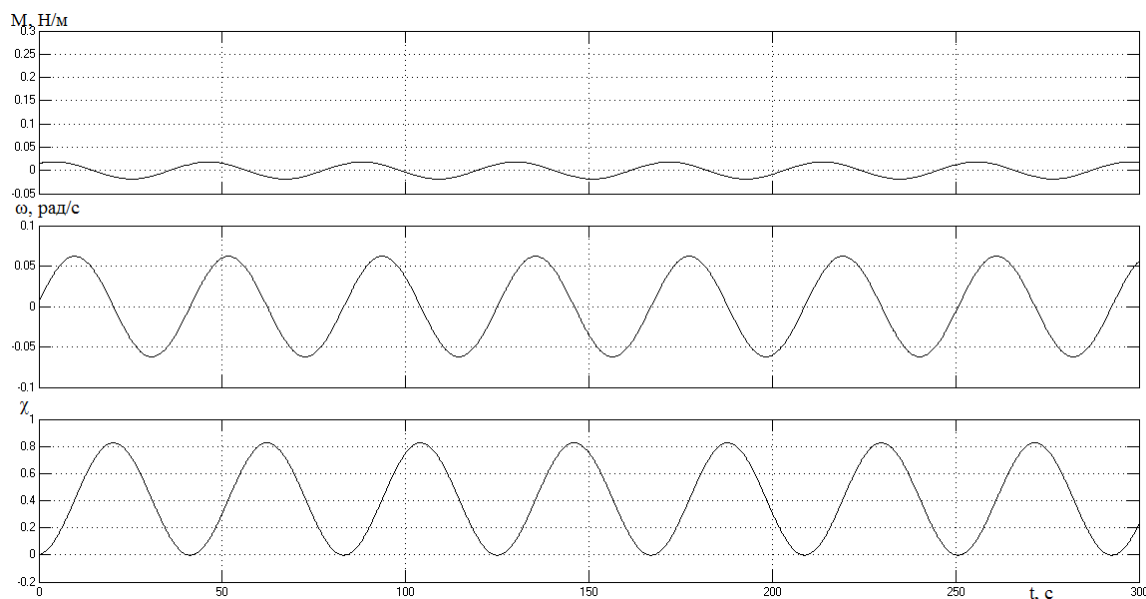


Рисунок 2.3.2 Выходные характеристики вентильного электропривода колебательного движения

2.4. Рабочие характеристики

В соответствии с имитационной моделью, показанной на рисунке 2.3.1, строятся рабочие характеристики вентильного двигателя колебательного движения:

1. амплитудные кинематические и силовые при изменении частоты;
2. механические амплитудные характеристики по координате при изменении частоты;
3. регулировочные характеристики при изменении амплитуды и фазы колебаний.

1. $L_{MEX} = J_D = 9 \cdot e^{-3}$ $R_{MEX} = 0,2$ $C_{MEX} = 0$

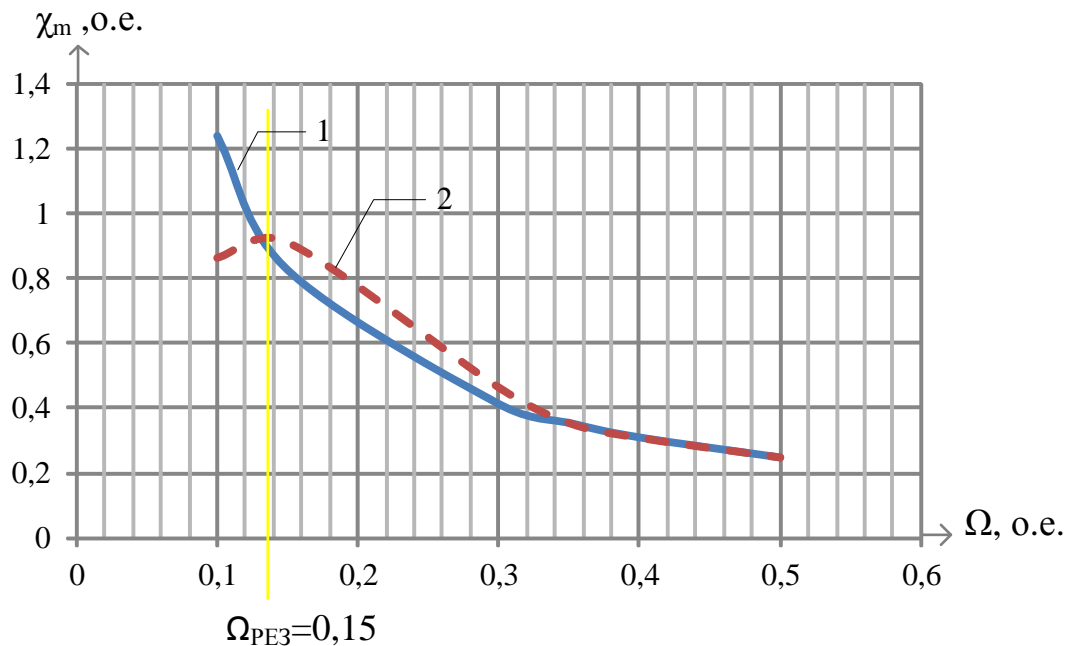


Рисунок 2.3.3 Амплитудно-частотные характеристики ВД в режиме колебательного движения:

1- $C_{MEX} = 0$; 2- $C_{MEX} = C_{MEX_{PE3}} = 0,00000502$

Изменяя частоту колебаний, получаем амплитудную кинематическую (рисунок 2.3.3) и силовую характеристику (рисунок 2.3.4)

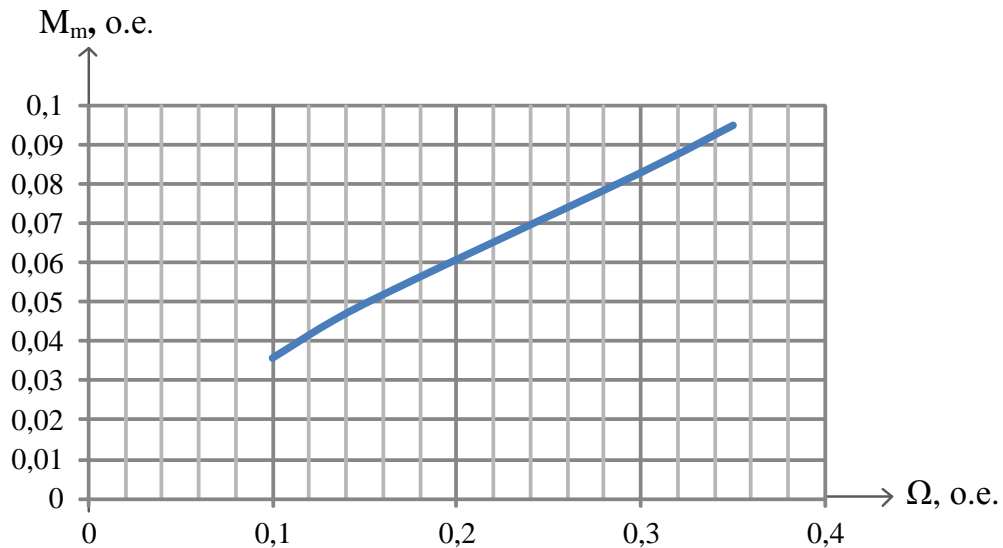


Рисунок 2.3.4 График зависимости $M_m(\Omega)$ электромагнитного момента от частоты

Строим амплитудную кинематическую характеристику при резонансе и без резонанса (рисунок 2.3.3) , выбираем частоту резонанса равную $\Omega_{PE3} = 0,15$ и находим $C_{MEX_{PE3}}$:

$$C_{MEX_{PE3}} = L_{MEX} \cdot \Omega_{PE3}^2 = 0,009 \cdot 0,15^2 = 0,0002025$$

Полученное значение делим на базовый момент:

$$\frac{C_{MEX_{PE3}}}{M_{\delta}} = \frac{0,0002025}{40,33} = 0,00000502 \text{ о.е.}$$

Как видно из рисунка 2.3.3 при резонансе происходит небольшой скачок.

На рисунке 2.3.4 зависимость линейная и при увеличении частоты так же увеличивается момент.

$$1. L_{MEX} = J_D = 9 \cdot e^{-3} \quad R_{MEX} = 0,2 \quad C_{MEX} = 0$$

Также при изменении частоты снимаются механические амплитудные характеристики по координате (рисунок 2.3.5) и скорости (рисунок 2.3.6)

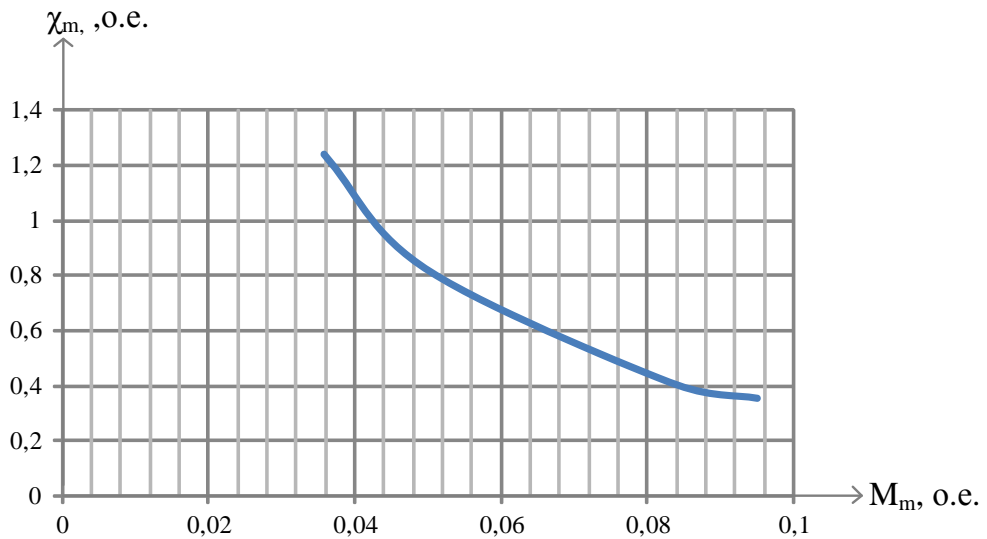


Рисунок 2.3.5 График зависимости $\chi_m (M_m)$ амплитуды координаты движения от момента

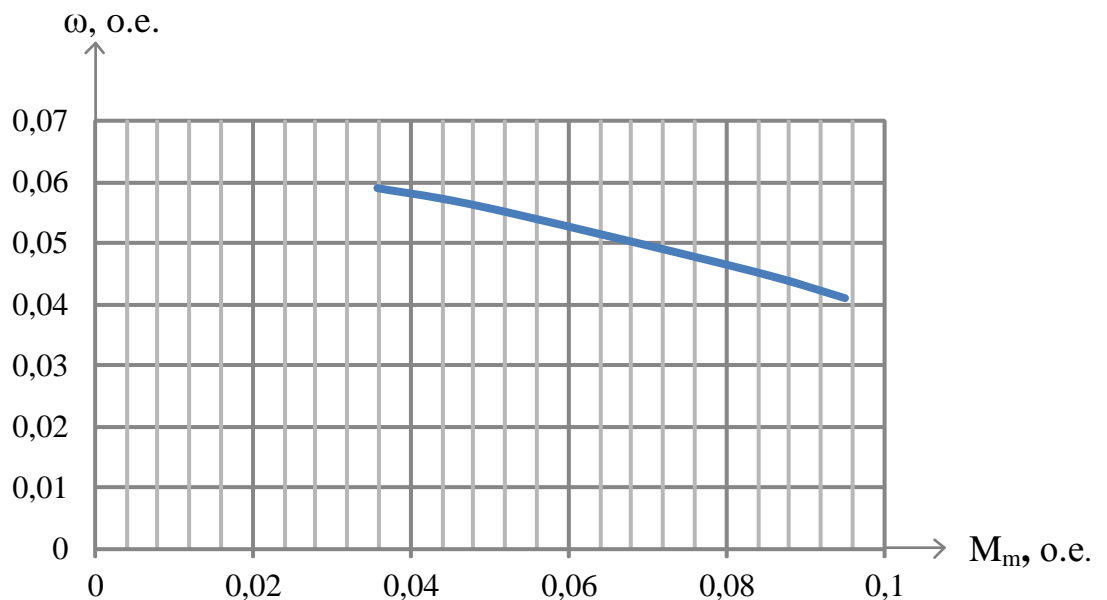


Рисунок 2.3.6 График зависимости $\omega_m (M_m)$ скорости от момента

Судя по рисункам 2.3.5 и 2.3.6 можно сказать, что при увеличении момента уменьшаются амплитуда колебаний и скорость.

2. Регулировочные характеристики снимаются при постоянной частоте

При $\Omega = \text{const} = 0,15$ рад/с $\gamma = \text{var}$ и $\alpha = \text{var}$

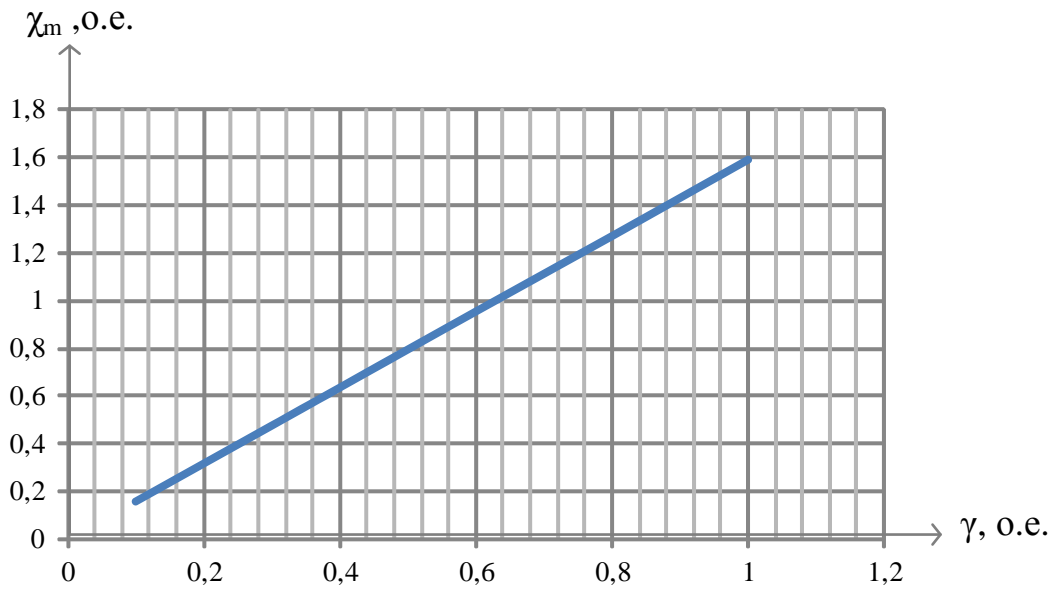


Рисунок 2.3.7 График зависимости $\chi_m = f(\gamma)$ амплитуды координаты движения от амплитуды колебаний

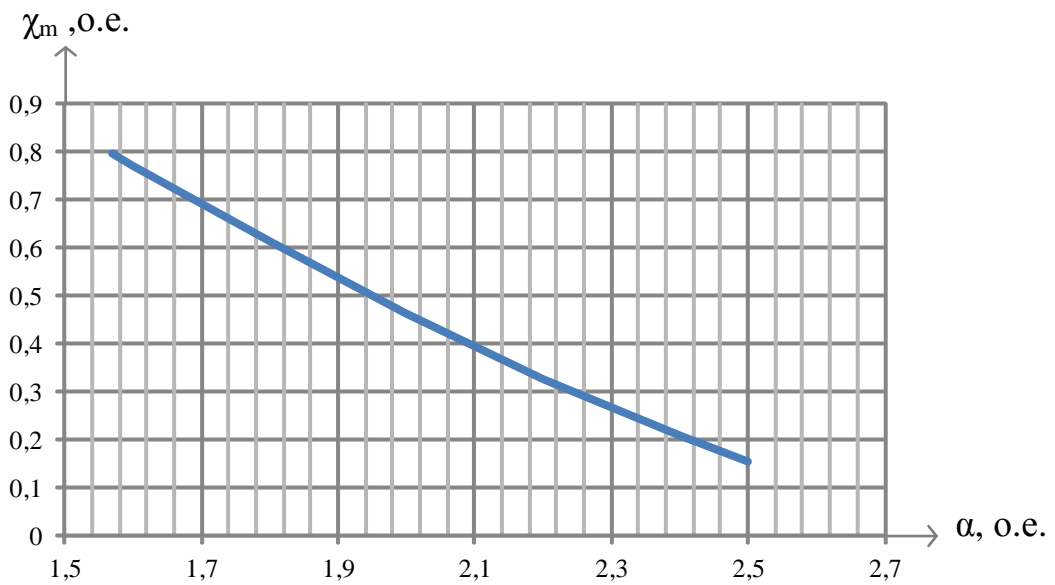


Рисунок 2.3.8 График зависимости $\chi_m = f(\alpha)$ амплитуды координаты движения от фазы колебаний

Зависимости, изображенные на рисунках 2.3.7 и 2.3.8, имеют линейный вид.

III. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ И НАГРУЗКИ НА РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1 Влияние параметров нагрузки на выходные характеристики электропривода

Для того, чтобы увидеть, как влияет изменение инерционной, демпфирующей нагрузок изменяем параметры нашей схемы (рисунок 3.1.1) и снимаем характеристики.

$$\chi_m = f(L_{MEX}, R_{MEX}, C_{MEX}).$$

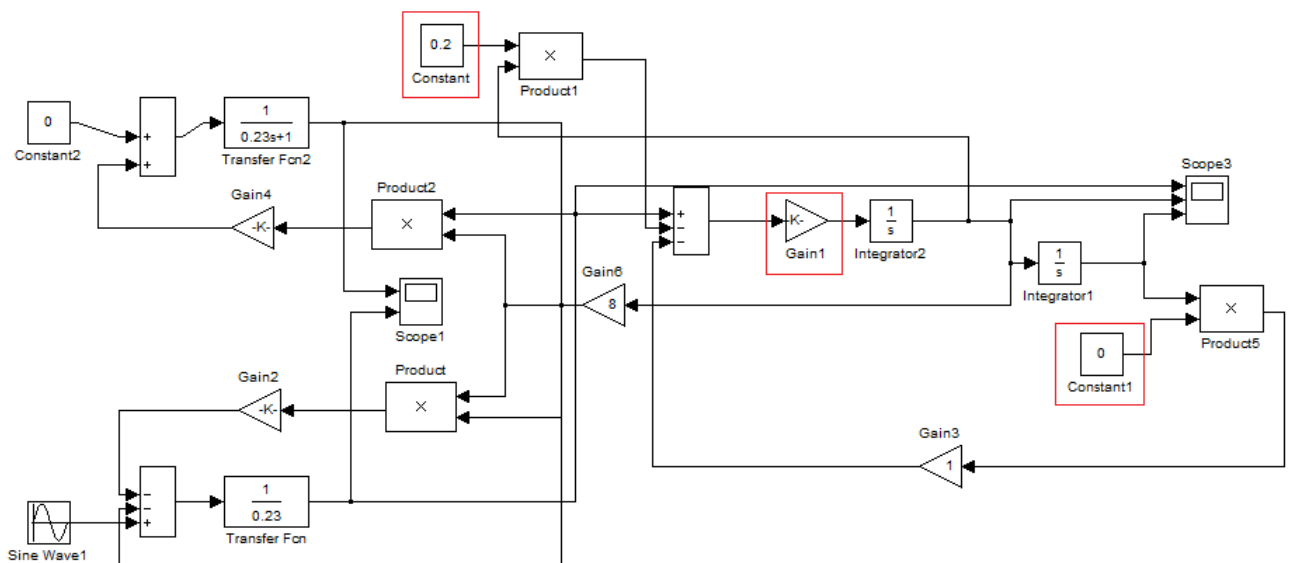


Рисунок 3.1.1 Изменяемые параметры схемы

На рисунках 3.1.2 и 3.1.3 представлены графики, иллюстрирующие влияние параметров нагрузки L_{mex} и R_{mex} на выходные параметры двигателя.

1. $L_{MEX} = var$

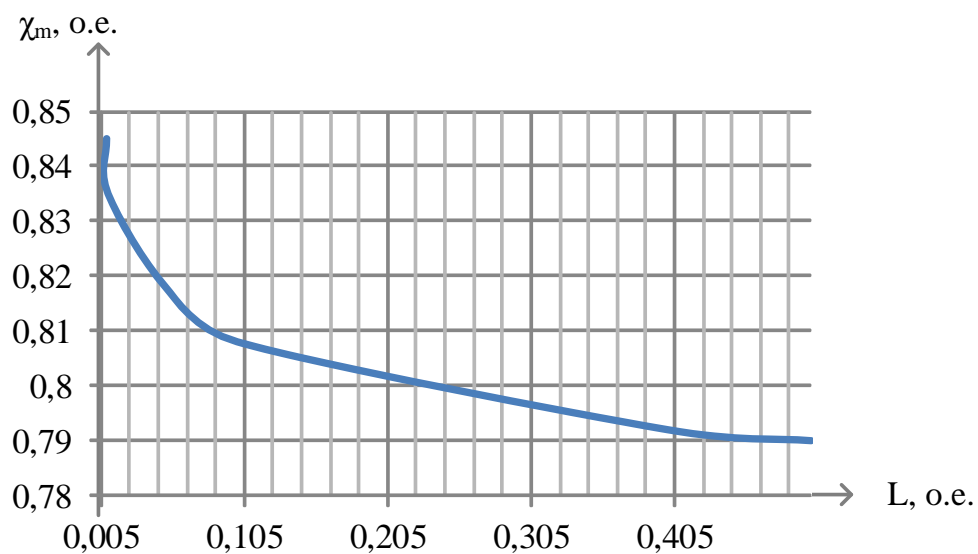


Рисунок 3.1.2 График зависимости $\chi_m = f(L_{MEX})$ влияние инерционной нагрузки на выходные параметры электропривода при прерывистом законе движения

2. $R_{MEX} = var$

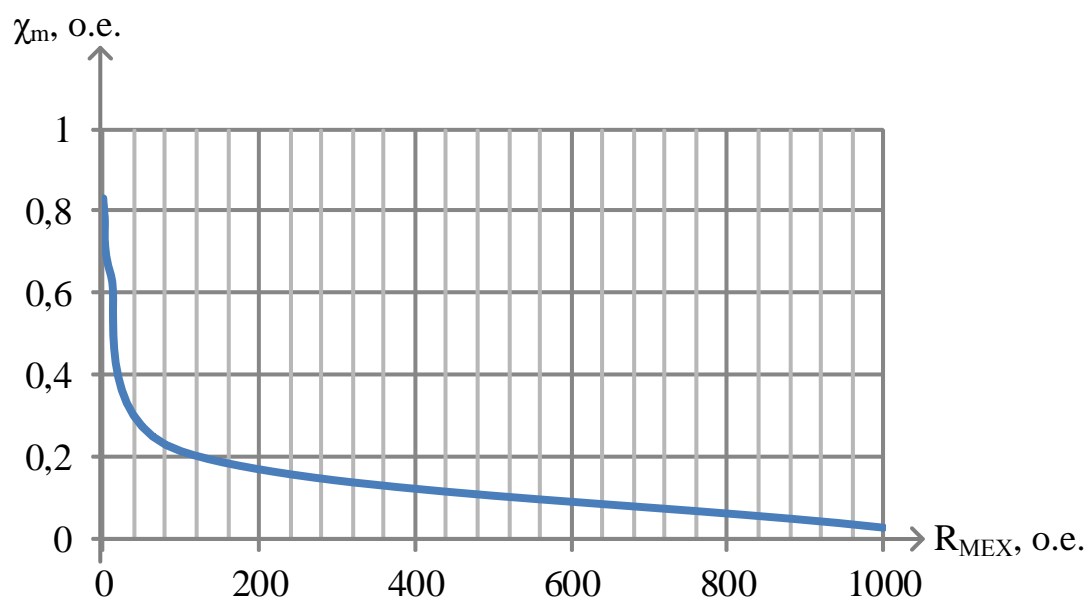


Рисунок 3.1.3 График зависимости $\chi_m = f(R_{MEX})$ влияние демпфирующей нагрузки на выходные параметры электропривода при прерывистом законе движения

3. $C_{MEX}=var$

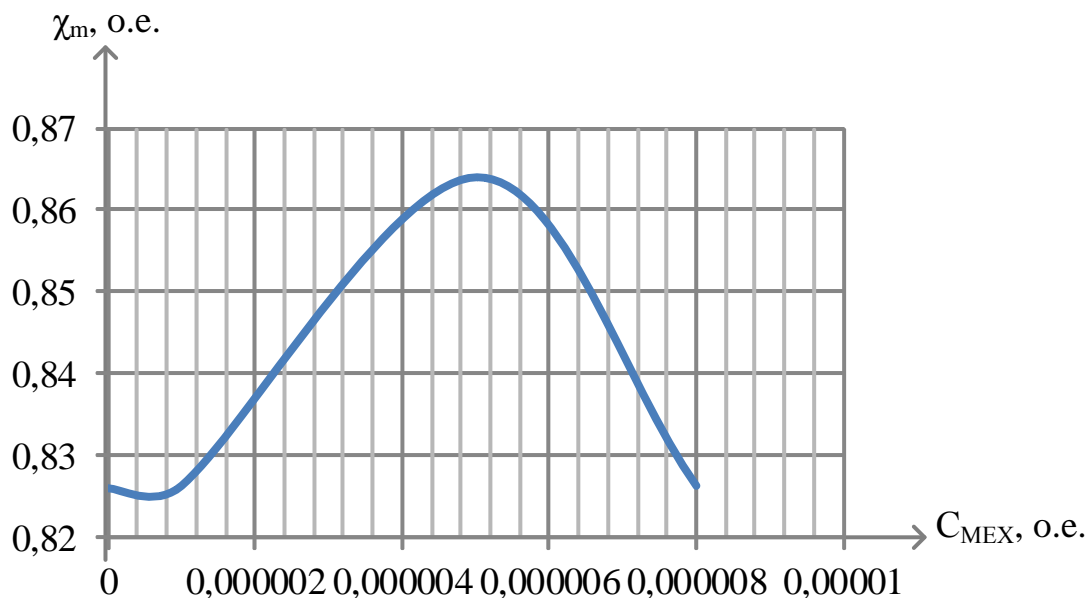


Рисунок 3.1.4 График зависимости $\chi_m=f(C_{MEX})$

Как видно (рисунок 3.1.2), при изменении инерционной нагрузкой выходные характеристики имеют падающий характер.

Более критичен электропривод к изменениям демпфирующей нагрузки (рисунок 3.1.3). Как и в первом случае, с увеличением демпфирующей нагрузки происходит снижение амплитуды координаты движения. Опыт показал, что увеличив демпфирующую нагрузку в 1000 раз с $R_{мех} = 0,2$ о.е. до величины $R_{мех} = 100$ о.е., амплитуда координаты движения уменьшилась в 4 раза (рисунок 3.1.3).

3.2. Оценка динамических характеристик вентильного электропривода колебательного движения

Динамический расчет на основании разработанной имитационной модели (рисунок 2.3.1) позволил получить регулировочные характеристики – зависимости момента, ударного тока и времени переходного процесса от частоты.

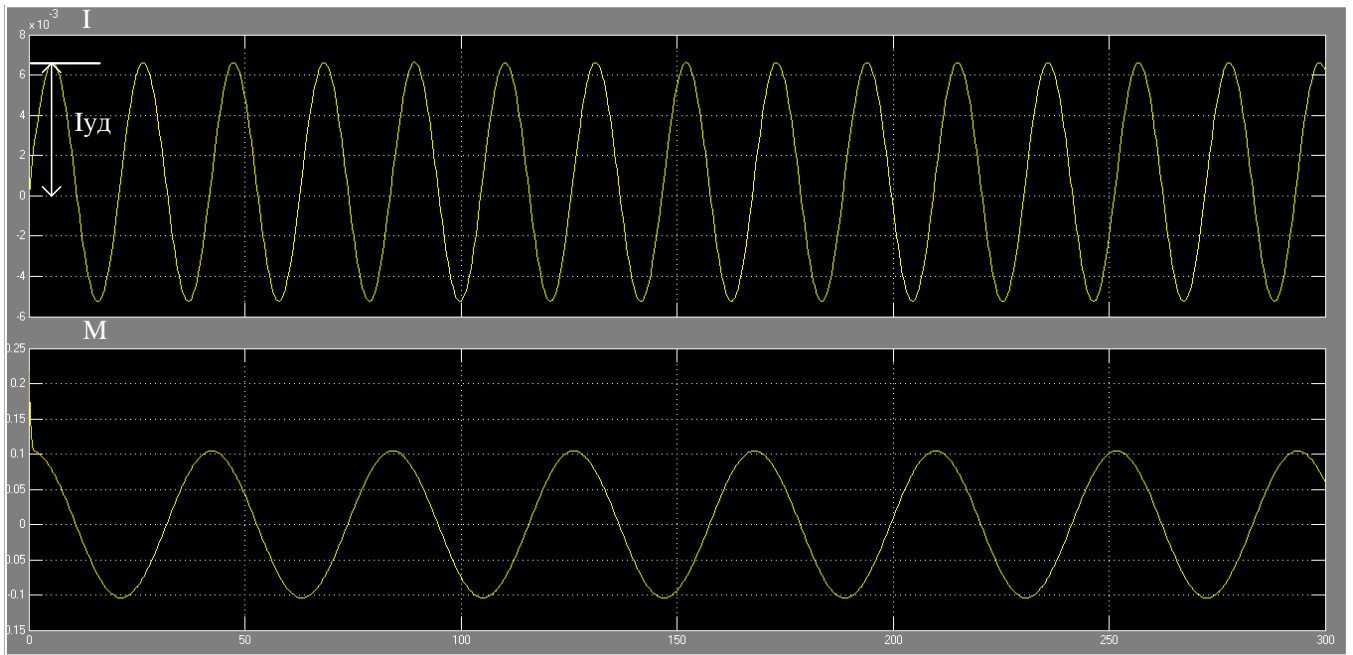


Рисунок 3.2.1 Выходные ток и момент вентильного электропривода колебательного движения

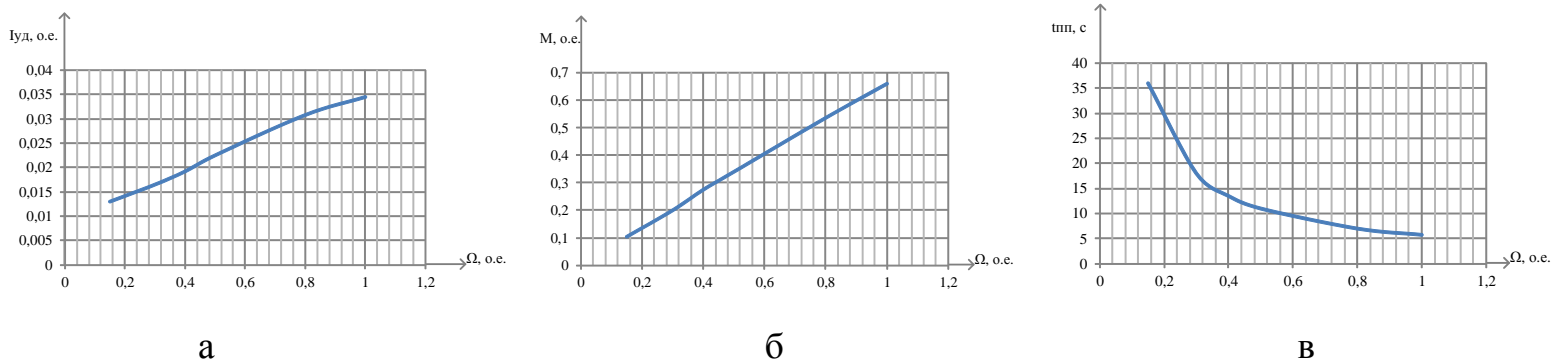
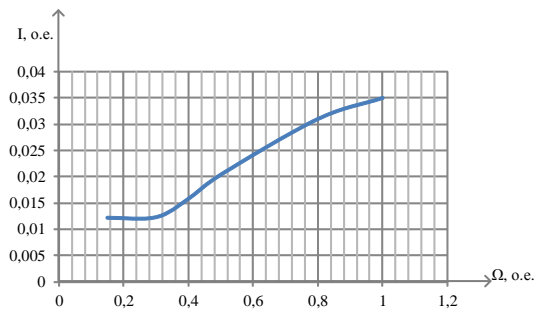
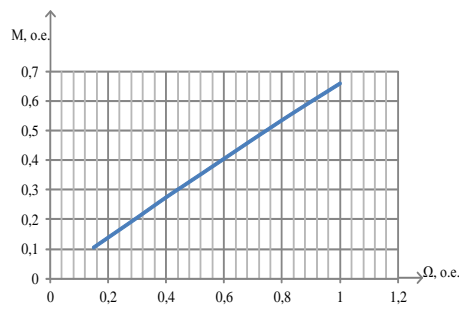


Рисунок 3.2.2 Динамические характеристики вентильного электропривода колебательного движения при $C_{МЭХ} = 0$:

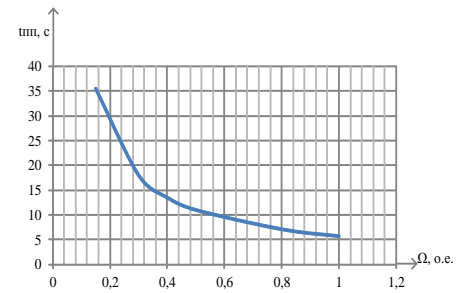
а- зависимость ударного тока от частоты колебаний $I_{уд}=f(\Omega)$; б- зависимость момента от частоты колебаний $M=f(\Omega)$; в- зависимость времени переходного процесса от частоты колебаний $t_{пл}=f(\Omega)$.



а



б



в

Рисунок 3.2.2 Динамические характеристики вентильного электропривода

колебательного движения при $C_{MEX} \neq 0; C_{MEX} = C_{PE3} = 0,00000502$:

а- зависимость ударного тока от частоты колебаний $I_{VD}=f(\Omega)$; б- зависимость момента от частоты колебаний $M=f(\Omega)$; в- зависимость времени переходного процесса от частоты колебаний $t_{III}=f(\Omega)$.

В зависимости от построения механической части привода и характера нагрузки динамические характеристики могут значительно изменяться.

Заключение

Исследование особенностей работы электрических машин с прерывистым законом движения при потенциальной фазовой модуляции в составе современных электроприводов различного целевого назначения, определение путей дальнейшего повышения эффективности их применения представляет в настоящее время одну из важнейших современных проблем, решение которой является новым шагом на пути совершенствования производственного процесса. Последнее, как видно, невозможно без дальнейшего углубленного развития теории исследования и синтеза данного класса электрических машин.

Представленные в настоящей работе результаты исследований позволяют получить некоторые принципиально новые инженерно-практические рекомендации по расчету, проектированию и созданию как электродвигателей, так и электроприводов с прерывистым законом движения. В результате открываются широкие перспективы по повышению эффективности использования данного класса электродвигателей не только в традиционных областях их предпочтительного применения, но и в тех областях, где ранее по эксплуатационным характеристикам они были не конкурентноспособными.

Список использованной литературы

1. Луковников В.И. Электропривод колебательного движения. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152с.
2. Артоболевский С. И. Некоторые вопросы механики приводов прерывного действия. Труды Института машиноведения. Семинар по теории машин и механизмов, вып. 81, 82, Изд-во АН СССР, 1960.
3. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: Справочное пособие. В 7 томах. ТОМ 4: Зубчатые механизмы. – 2-е издание, переработанное. – М.: Наука, 1980. – 592 с.
4. Гладков С.Н. Электромеханические вибраторы. – М.: Машиностроение, 1966. – 83 с.
5. Мамедов Ф.А., Беспалов В.Я., Резниченко В.Ю., Малиновский А.Е. Формирование синусоидального режима в АД // Динамические режимы работы электрических машин переменного тока. Смоленск. СФМЭИ. 1975. С. 48-50.
6. Аристов А.В. Электропривод колебательного движения с машиной двойного питания. – Томск: Издательско-полиграфическая фирма ТПУ, 2000. –176 с.
7. А.с. N 1317636 СССР. Способ управления двухфазным асинхронным двигателем в режиме прерывистого движения / Ткалич С.А., Аристов А.В., Шутов Е.А.// Б.И. 1987. N 22.
8. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии. М.: Энергия. – 1973. – 400с.
9. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1974. – 839 с.