

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

Институт Электронного обучения

Направление обучения 140604 Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
ЭЛЕКТРОПРИВОД ПРОМЫВА ВОДООЧИСТНОЙ СЕТКИ ВОДОЗАБОРА

УДК 62-83-523-048.35:628.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-7101	Адешин Кирилл Викторович		

Руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Кафедра Электропривода и электрооборудования	Удуд Леонид Степанович	Кандидат технических наук, доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедра Менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности	Сечин Андрей Александрович	Кандидат технических наук, доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
кафедра Электропривода и электрооборудования	Дементьев Юрий Николаевич	Кандидат технических наук, доцент		

Техническое задание

Разработать регулируемый электропривод промыва водоочисткой сетки водозабора, удовлетворяющий следующим техническим требованиям и характеристикам.

1. Режим работы – продолжительный, нагрузка реактивная.
2. Электропривод нереверсивный, диапазон регулирования $D = 1:10$.
3. Погрешность поддержания заданной частоты не более 10 % на нижней рабочей скорости.
4. Управление электроприводом - ручное, с пульта управления обслуживающим персоналом, в автоматизированном режиме поддержания давления с перспективой интеграции в систему управления более высокого уровня.
5. Электродвигатель должен быть предназначен для работы в условиях повышенной температуры, иметь закрытое исполнение со степенью защиты не ниже IP54.
6. Внедрить в технологический процесс преобразователь. Преобразователь должен быть предназначен для работы в закрытых стационарных помещениях при температуре окружающего воздуха от 5° до 45°C и относительной влажности не более 80% .
7. Система управления электроприводом должна обеспечивать надежную защиту от перегрузок и аварий, простоту управления и обслуживания.
8. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\% \text{ В}$, $50 \pm 1 \text{ Гц}$.

Реферат

- Выпускная квалификационная работа – 81 с., 36 рисунков, 27 таблиц, 14 источников литературы.
- Целью выпускной квалификационной работы является проектирование электропривода промыва водоочистой сетки водозабора.
- ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010 на бумаге формата А4 с помощью программ Microsoft Excel 2010, Microsoft Visio 2007, MathCad 14, MATLAB7.1 Simulink.

Содержание

Техническое задание	5
Введение	8
1 Описание технологического процесса	9
1.1 Система водоснабжения станции	9
1.2 Система очистки воды	11
1.3 Насосные устройства	15
2 Параметры и характеристики приводных двигателей	18
2.1 Типы приводных двигателей	18
2.2 Расчет параметров и характеристик асинхронного двигателя насоса	18
2.3 Расчет характеристик и параметров асинхронного электродвигателя привода вращающихся сеток	29
2.4 Обоснование и выбор преобразователя электрической энергии	41
3 Разработка и исследование электроприводов со скалярным управлением .	44
3.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением.	44
3.2 Исследование электропривода насоса и вращающихся сеток с частотным скалярным управлением	53
4 Разработка и исследование электропривода вращения сеток с частотным векторным управлением	61
4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением	61
4.1.1 Структурные схемы блоков преобразования координат двигателя	68
4.1.2 Схемы расчета потокосцепления в электроприводе без датчиков потока	69
4.1.3 Схемы расчета скорости вращения двигателя в электроприводе без датчика скорости	71
4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода вращающихся сеток с векторным управлением	71
4.2.2 Программа исследований электропривода	76
Список используемых источников	79

Введение

На сегодняшний день важным становится вопрос эффективной технологической модернизации оборудования и средств технического управления и контроля на большинстве тепловых станций России. Оборудование на этих объектах эксплуатируется уже более 20 лет, его физический и моральный ресурс истощен.

Внедрение на предприятии нового современного технологического оборудования является наиболее перспективным и правильным решением, позволяющим использовать потенциал систем управления с максимальной эффективностью, добиться увеличения уровня технологичности, увеличить безаварийность и повысить безопасность работы станции.

В настоящее время в большинстве стран мира с успехом реализуется способ частотного управления асинхронной машиной, который позволяет помимо экономии электроэнергии, получить усовершенствованную систему управления агрегатами и технологическим процессом в целом.

Уже более 30 лет индустриально развитые страны используют в промышленности частотно-регулируемый электропривод. В течение этого периода закладывались методические и научные основы, велась разработка технических средств управления электроприводами, усовершенствовалось оборудование, улучшались технологические процессы, при подготовке специалистов вносились коррективы в курс обучения. Опыт использования привода такого типа получен достаточно большой.

Ситуация по данному аспекту в нашей стране складывается несколько иная. Разработка и интеграция полномасштабных АСУ ТП взамен устаревших систем еще недостаточно развита и незначительна.

Цель данной работы - представить разработку частотно-регулируемого асинхронного электропривода промыва водоочистной сетки водозабора.

1 Описание технологического процесса

Береговая насосная станция (далее БНС) является одним из наиболее дорогих и ответственных сооружений, представляющих собой достаточно сложный комплекс оборудования для водоснабжения и водоотведения. Стабильность и эффективность работы ГРЭС напрямую зависит от бесперебойного функционирования водозаборных сооружений. Поэтому одним из наиболее важных и ответственных этапов при проектировании насосной станции является правильный подбор параметров и типов оборудования с учетом его технических характеристик, взаимосвязей, удобства эксплуатации. Основным состав энергетического оборудования БНС - это насосы и приводные двигатели. Насосы в зависимости от требуемого напора устанавливаются осевые, диагональные и центробежные лопастные или насосы вытеснения. Привод насоса производится при помощи электродвигателя и такая система в комплексе называется гидроагрегатом.

1.1 Система водоснабжения станции

Система технического водоснабжения ГРЭС Березовская циркуляционная оборотного типа с водохранилищем - охладителем. Водохранилище образовано слиянием трех рек Базыр, Кадат и Береш и по техническим параметрам имеет объем 193 млн. м³, глубину от 5,8 до 15м при площади зеркала 30 км².

Насосная станция осуществляет забор воды из водохранилища посредством глубинного водозабора, который включает в себя водозаборную галерею, имеющую закрытые водоотводящие каналы и ковши водозабора, с переходом в открытые подводящие каналы. Циркуляционные насосы для перекачивания технической воды t до 35⁰С типа ОПВ2-185, вертикальные, осевые, имеют подачу до 49680 м³/ч и напор до 15,2 м.в.ст. комплектуются 2-х скоростными электродвигателями и располагаются на БНС (по два на каждый энергоблок).

БНС разделена на 16 водоприемных секций (по две секции на один циркуляционный насос). Каждая секция имеет камеру для установки затвора отключения от водохранилища, комплект решеток для удержания от попадания крупного мусора в систему и вращающиеся сетки (по две на один насос). Схема БНС представлена на рис1.2.

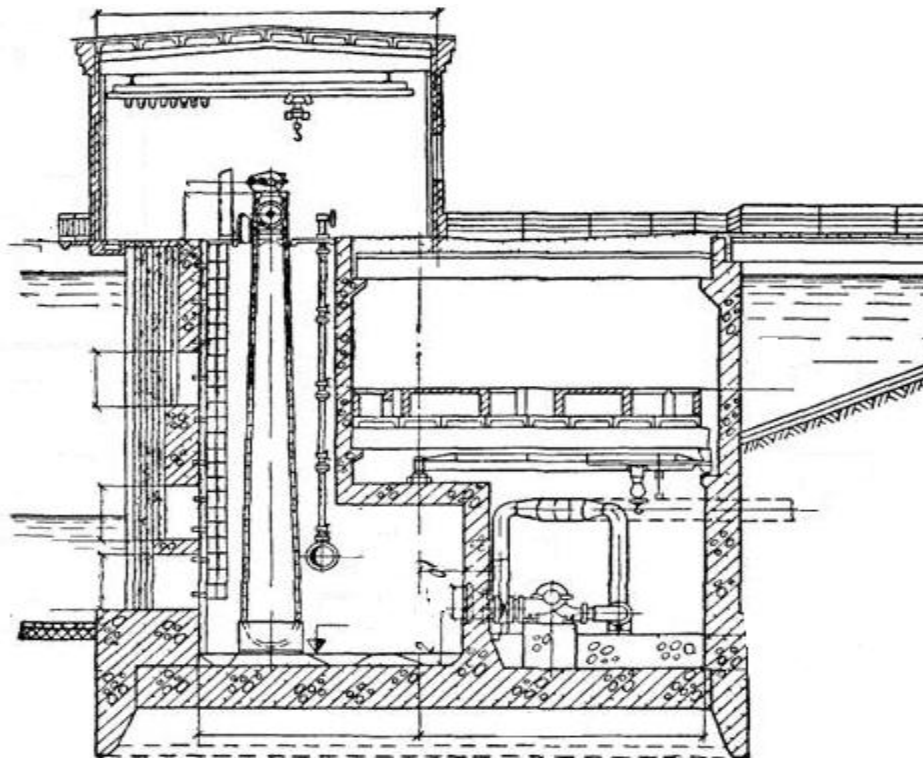


Рисунок 1.2 – Береговая насосная станция совмещенного типа

Отбор технической воды на ТПН, конденсаторы, эжекторы и другое вспомогательное оборудование ГРЭС осуществляется циркуляционными насосами из открытого канала по двум водоводам диаметром $D_y=2,4$ м. Вода после отработки цикла сбрасывается по трубопроводам $D_y=2,4$ м и $D_y=0,8$ м в отводящий канал и далее обратно в водохранилище. Протяженность отводящего канала составляет 1360 м.

Общий расход воды в сутки составляет $3,5 \times 10^6$ м³/ч, из них расход на конденсатор ГРЭС - 73000 м³/ч.

Средняя температура воды сбрасываемой в водохранилище летом составляет 17⁰С, а зимой до -5⁰С.в) наземные.

1.2 Система очистки воды

Вращающиеся водоочистные сетки служат для очистки воды от мелкого мусора, взвешенных примесей и устанавливаются между приемной и всасывающей камерой водоприемника. Расход воды через водоочистные сетки составляет 108 т/ч. На рисунке 1.3 машзал береговой насосной станции, на котором представлены вращающиеся сетки установленные в ряд справа, слева ЦН.



Рисунок 1.3 – Машзал береговой насосной станции

Сетка обеспечивает простоту и компактность устройства водоприемника, менее сложный монтаж и более удобный осмотр, а также спокойный с наименьшим сопротивлением режим прохождения воды в камерах насосной станции.

В зависимости от степени загрязненности забираемой воды скорость поступательного движения сеток может варьироваться и лежать в пределах от 3 до 10 см/с.

На рисунке 1.4, 1.5 – показана работа параллельно расположенных сеток.

Механизм вращения сетки используется для движения сетки при промывке. Очистка осуществляется струями воды при движении секций сетки вверх. Вода для промывки сеток подается из напорного коллектора через промывочные устройства (сопла).



Рисунок 1.4 – Представлены вращающиеся сетки в работе



Рисунок 1.5 – Ряд вращающихся сеток

Очистная вращающаяся сетка состоит из отдельных секций (рамок), соединенных подвижно между собой шарнирами и подвешена на двух

транспортных роликовых цепях. Цепи навешаны на две приводные звездочки, установленные на общий грузовой вал, и приводятся во вращение электроприводом. Схема механизма вращения сеток представлена рисунке 1.6, где цифрами обозначены:

- 1 - порог;
- 2 – шарнирные цепи;
- 3 – ковшевая секция сетки;
- 4 – грузовая шестерня;
- 5 – рама приводного механизма;
- 6 – редуктор;
- 7 – грузовой вал;
- 8 – желоб для отвода воды и сора;
- 9 – цепная передача;
- 10 – электродвигатель;
- 11 – секции сетки;
- 12 – ось;
- 13 – направляющие;
- 14 – направление движения воды.

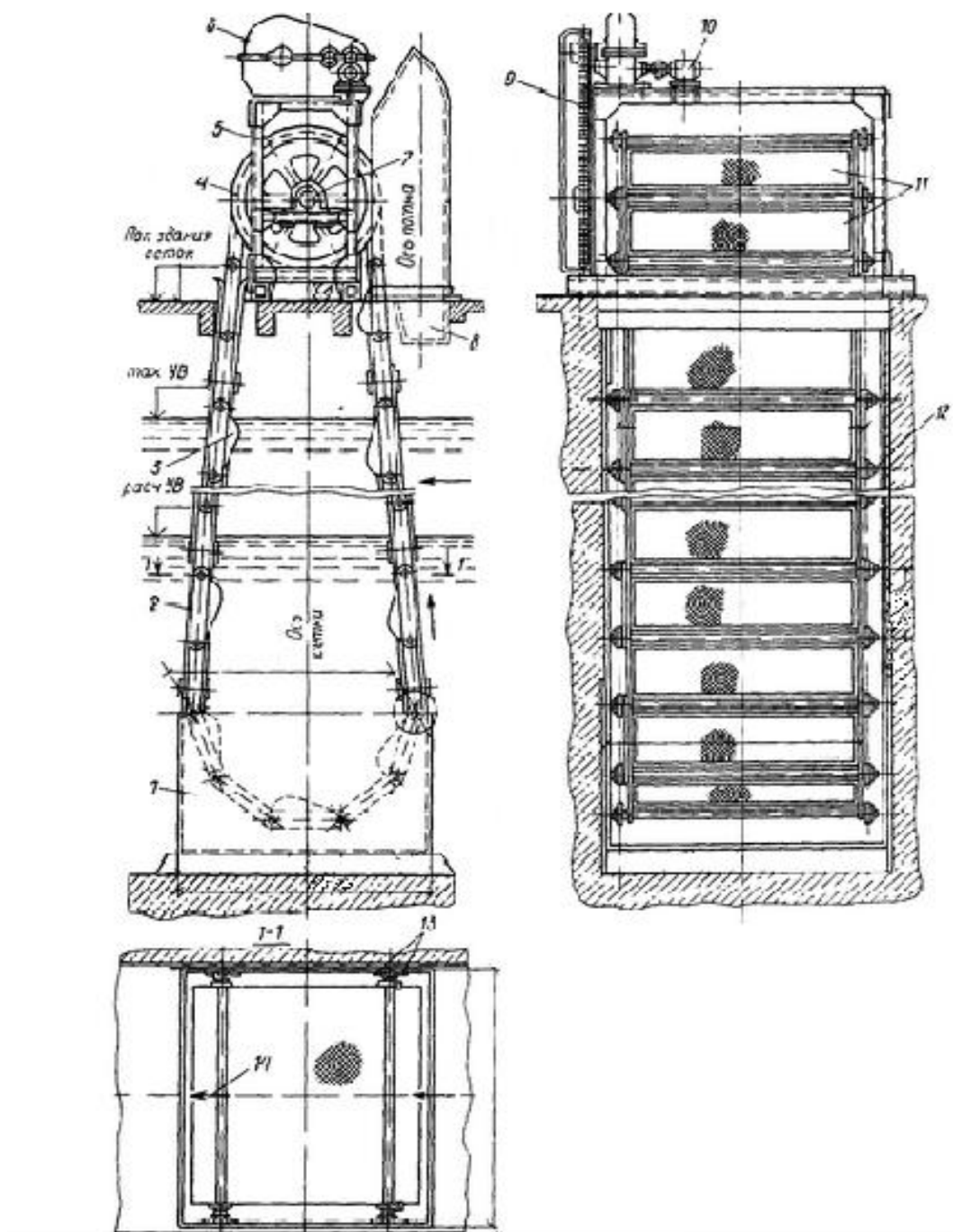


Рисунок 1.6 – Вращающаяся сетка с лобовым подводом воды

Процесс очистки полотна сеток механизирован. Загрязненные секции поступательно поднимаются вверх и, проходя мимо устройства промыва, очищаются напором воды с чистой стороны. Сор и грязь смытые водой попадают в грязевой желоб и самотеком уходят в мусоросборные колодцы, где задерживается на специальных решетках. Очищенная промывочная вода поступает далее в систему для нужд ГРЭС.

Система предназначена для опорожнения камер водоприемника и промывки сеток.

Система состоит:

- из трубопровода диаметром 300/80 мм с задвижками и обратными клапанами;
- 4-х насосов (в т.ч. два резервных);
- фильтр для очистки промывочной воды;
- сливного лотка и коллектора для отвода промывочной воды;
- емкости для сбора мусора.

Таблица 1.1 – Технические характеристики сеток

Тип	ТЛ-3000-15750
Количество, шт	16
Ширина полотна, мм	2850
Диаметр проволоки, мм	0,6
Размер ячейки, мм	4,0-4,0
Материал проволоки	Сталь нерж. 12*18 Н10Т
Скорость вращения, м/мин	5,45
Расход промывочной воды, л/с	30
Напор промывочной воды, м	30
Диаметр промывочного сопла, мм	5

1.3 Насосные устройства

Основные характеристики:

- Уплотнение вала насоса – одинарное, одинарное торцовое либо двойное сальниковое.
- Наибольший допуск избыточного давления на входе насоса: 0,35МПа (3,5 кгс/см²) - с мягким сальником , 0,6 МПа (6,0 кгс/см²) - с торцовым уплотнением.
- Материал деталей проточной части - серый чугун.



Рисунок 1.6 – Насос центробежный консольный 8К-12

Соответствие условного обозначение насоса: ГОСТ 22247-96 К200-150-315-С-УХЛ4, где:

- К – тип насоса (консольный);
- 200 – номинальный диаметр входного патрубка, мм;
- 150 – номинальный диаметр выходного патрубка, мм;
- 315 – номинальный диаметр рабочего колеса, мм;
- С –одинарное сальниковое уплотнение вала насоса или СД - двойное сальниковое уплотнение;
- УХЛ – исполнение для типа климата;
- 4 – категория размещения агрегата при эксплуатации

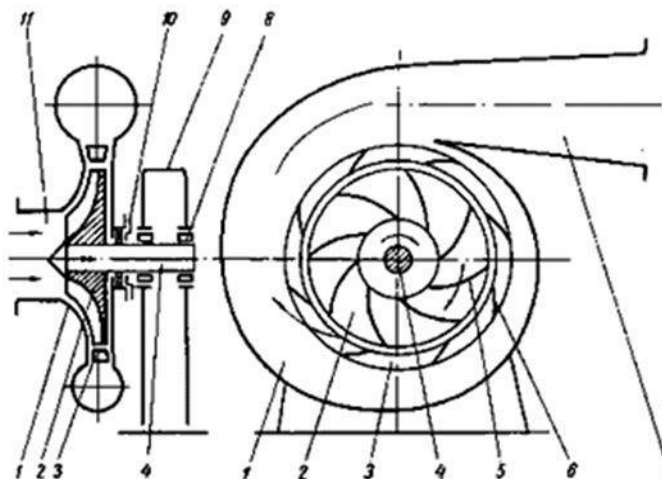


Рисунок 1.7 – Принципиальная схема центробежного насоса.

На рисунке 1.7 принимаем следующие обозначения:
1 - рабочая камера; 2 - рабочее колесо; 3 - направляющий аппарат; 4 - вал; 5 - лопатка рабочего колеса; 6 - лопатка направляющего аппарата;
7 - нагнетательный патрубок; 8 - подшипник; 9 - корпус насоса (опорная стойка); 10 - гидравлическое торцовое уплотнение вала (сальник);
11 - всасывающий патрубок.

2 Параметры и характеристики приводных двигателей

2.1 Типы приводных двигателей

Для привода насосов используются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором типа АИР200S4

Для привода сеток используются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором типа АИР112MB6

2.2 Расчет параметров и характеристик асинхронного двигателя насоса

2.2.1 Справочные параметры приводного двигателя насоса

Технические данные приведенного электродвигателя типа АИР200S4 приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Технические данные электродвигателя

Типоразмер электродвигателя	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{\text{ин}}, \text{ В}$	$P_{\text{дв.н}}, \text{ кВт}$	При номинальной нагрузке			$s_k \%$	$J_{\text{дв}}, \left[\text{кг} \cdot \text{м}^2 \right]$
				$s_n \%$	$\cos \varphi_n$	$\eta_n \%$		
АИР200S4	1500	380	37	2	0.89	92.5	0.119	0.28

Продолжение таблицы 2.1

$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мин}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{\text{идв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$	Степень защиты
1.7	2.7	1.6	7.5	IP44

2.2.2 Параметры расчета электродвигателя АИР200S4

Номинальная скорость вращения

$$n_{\text{дв.н}} = \left(1 - \frac{s_n}{100}\right) \cdot n_0 = \left(1 - \frac{2}{100}\right) \cdot 1500 = 1470 \text{ об/мин}.$$

Синхронная угловая частота вращения

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f_{1н}}{z_p} = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.1415 \cdot 1500}{30} = 157.08 \text{ рад/с}.$$

Номинальная угловая частота вращения

$$\omega_{\text{дв.н}} = \left(1 - \frac{s_n}{100}\right) \cdot \omega_0 = \left(1 - \frac{2}{100}\right) \cdot 157.08 = 153.938 \text{ рад/с}.$$

Номинальный полезный момент на валу двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{37 \cdot 10^3}{153.938} = 240.356 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный ток двигателя

$$I_{1н} = \frac{P_n \cdot 10^3}{3 \cdot U_n \cdot \cos \phi_n \cdot \eta_n} = \frac{37 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.89 \cdot 92.5} = 68.097 \text{ А}.$$

2.2.3 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Расчет выполняем с использованием программы Rep_AD_RL2 в среде MatCad. Предварительное значение тока холостого хода двигателя асинхронного

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[p_* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H} \right]^2}{1 - \left[p_* \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H} \right]^2}} = \sqrt{\frac{52.367^2 - \left[0.75 \cdot 68.097 \cdot \frac{1-2}{1-0.75 \cdot 2} \right]^2}{1 - \left[0.75 \cdot \frac{1-2}{1-0.75 \cdot 2} \right]^2}} = 19.019 \text{ A},$$

где

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0.75 \cdot 4000}{3 \cdot 220 \cdot 0.89 \cdot 0.925} = 52.367 \text{ A}$$

– ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$p_* = \frac{P}{P_H}$ – коэффициент загрузки двигателя, который принимаем $p_* = 0.75$;

η_{p_*} – КПД двигателя при частичной нагрузке, $\eta_{0.75} = 0.81$.

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot (1-s_H)}{2 \cdot m_K \cdot P_{\text{двн}} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1-2)}{2 \cdot 2.7 \cdot 4000 \cdot 1.019^2 \cdot \left(1 + \frac{1}{0.119} \right)} = 0.067 \text{ Ом}.$$

где β – коэффициент, лежащий в диапазоне $0.6 \div 2.5$, предварительно примем равным $\beta = 1.84$;

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{дв}} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{19.019}{2 \cdot 7.5 \cdot 68.097} = 1.019$$

– расчетный коэффициент;

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot m_k - 1]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot m_k - 1} =$$

$$= 2 \cdot \frac{2.7 + \sqrt{2.7^2 - [1 - 2 \cdot 2 \cdot 1.84 \cdot 2.7 - 1]}}{1 - 2 \cdot 2.7 \cdot 1.84 \cdot 2.7 - 1} = 0.119$$

– критическое скольжение двигателя.

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить следующим выражением $R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.019 \cdot 0.067 \cdot 1 = 0.126 \text{ Ом}$.

Определим параметр γ , позволяющий определить индуктивное сопротивление короткого замыкания с X_k

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 8.167 \cdot 1.019 \cdot 0.067 = 0.559 \text{ Ом, где}$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0.119^2} - 1^2} = 8.167.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора приведенное к обмотке статора рассчитывается следующим образом:

$$X_{2\sigma}' = 0.58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{0.559}{1} = 0.318 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы статорной обмотки

$$X_{1\sigma} = 0.42 \cdot X_{кн} = 0.42 \cdot 0.559 = 0.235 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_\mu}{I_0} = \frac{205.332}{19.019} = 10.796 \text{ Ом},$$

где

$$E_\mu = \sqrt{U_{1н} \cdot \cos \phi_n - I_{1н} \cdot R_1^2 + U_{1н} \cdot \sin \phi_n - I_{1н} \cdot X_{1\sigmaн}^2} =$$

$$= \sqrt{220 \cdot 0.89 - 68.097 \cdot 0.126^2 + 220 \cdot \sin(\arccos(0.83)) - 68.097 \cdot 0.235^2} = 205.332 \text{ В}$$

– ЭДС ветви намагничивания наведенная потоком воздушного зазора в статорной обмотке в номинальном режиме.

Полученные из расчётов параметры Т-образной схемы замещения двигателя сведены в таблицу 2.2.

Рассчитав необходимые параметры схемы замещения, определим значения электромагнитного момента номинального асинхронного двигателя:

$$M_{\text{дв эм н}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi \text{ н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,067}{157,08 \cdot 2 \cdot \left[9,34^2 + \left(0,126 + \frac{0,067}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,126 \cdot 0,067}{2 \cdot 10,796} \right)^2 \right]} = 249,082 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, создаваемый силами трения на валу двигателя

$$\Delta M_{\text{с дв}} = M_{\text{дв эм н}} - M_{\text{дв н}} = 249,082 - 249,073 = 0,009052 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таблица 2.2 – Расчетные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{\text{кн}}, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$X_{2\sigma}', \text{Ом}$	$X_{\mu}, \text{Ом}$
0.126	0.067	0.559	0.235	0.318	10.796

2.2.4 Расчёт естественных характеристик двигателя насоса

Естественная механическая характеристика $M(s)$ асинхронного двигателя для частоты $f_{1\text{н}} = 50 \text{ Гц}$ определяется выражением:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi \text{ н}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]},$$

где M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

По результатам расчёта (программа Rep_AD_Mlect в среде MatCad) строим механическую характеристику $\omega(M)$ (рисунок 2.1). Угловую скорость вращения двигателя определяем по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Рассчитываем значения электромагнитного номинального момента

$$M_{\text{эм}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1.382}{157.08 \cdot 0.05 \cdot \left[0.559^2 + \left(0.126 + \frac{0.067}{0.05} \right)^2 + \left(\frac{0.126 \cdot 0.067}{0.05 \cdot 10.796} \right)^2 \right]} = 390.867 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

критического скольжения

$$s_{\text{к}} = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0.067 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0.126}{10.796} \right)^2}{0.126^2 + 0.559^2}} = 0.117 ;$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.к}} s_{\text{н}} = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right] \right\}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157.08 \cdot \left(0.126 + \sqrt{0.126^2 + 0.559^2} \cdot \left(1 + \frac{0.126^2}{10.796} \right) \right)} = 390.867 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

которые соответствуют расчетной естественной механической характеристике двигателя.

Электромагнитный пусковой момент $M_{\text{эм.п}}$ рассчитан при значении скольжения $s = 1$.

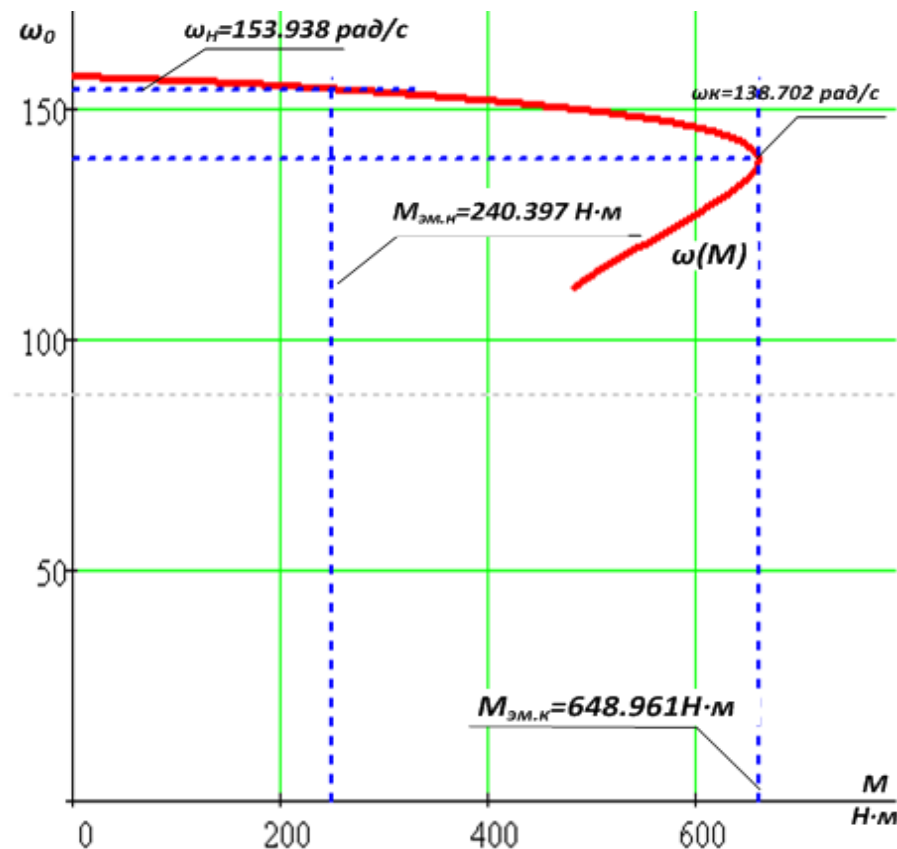


Рисунок 2.1 – Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ электродвигателя типа АИР200S4

Расчет механической характеристики двигателя был сделан для электромагнитного момента, поэтому необходимо учесть собственный электромагнитный момент на валу двигателя. Момент, возникающий в результате действия сил трения на валу двигателя можно принять неизменным и равным:

$$\Delta M_{\text{с.дв}} = M_{\text{эм.н}} - M_{\text{дв.н}} = 249.08 - 240.356 = 8.725 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

2.2.5 Естественная электромеханическая характеристика двигателя

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ короткозамкнутого асинхронного двигателя для частоты $f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ определяется выражениями:

$$I_1 s = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' s \cdot \sin \varphi_2 s} \\ = \sqrt{19.942^2 + 62.492^2 + 2 \cdot 19.942 \cdot 62.492 \cdot \sin \varphi_2 s} = 68.547,$$

где $I_1 = I_{1\phi}$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} = \\ = \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0.126 + \frac{0.067}{s}\right)^2 + 0.559^2 + \left(\frac{0.126 \cdot 0.067}{s \cdot 10.796}\right)^2}},$$

– ток ротора, приведённый к обмотке статора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_{1\sigma} + X_\mu\right)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0.126^2 + 0.235 + 10.796^2}} = 19.942 \text{ А},$$

– действующее значение тока холостого хода;

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{0.861}{\sqrt{\left(0.126 + \frac{0.067}{s}\right)^2 + 0.559^2}}.$$

По полученным результатам расчёта (программа Rep_AD_Mtest в среде MatCad) строим электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ (рисунок 2.2). Номинальный ток статора $I_H(s_H)$ и максимальный

ток двигателя $I_{1\text{макс}}(s=1)$, при прямом пуске рассчитаны для скольжения $s = s_H$ и $s = 1$.

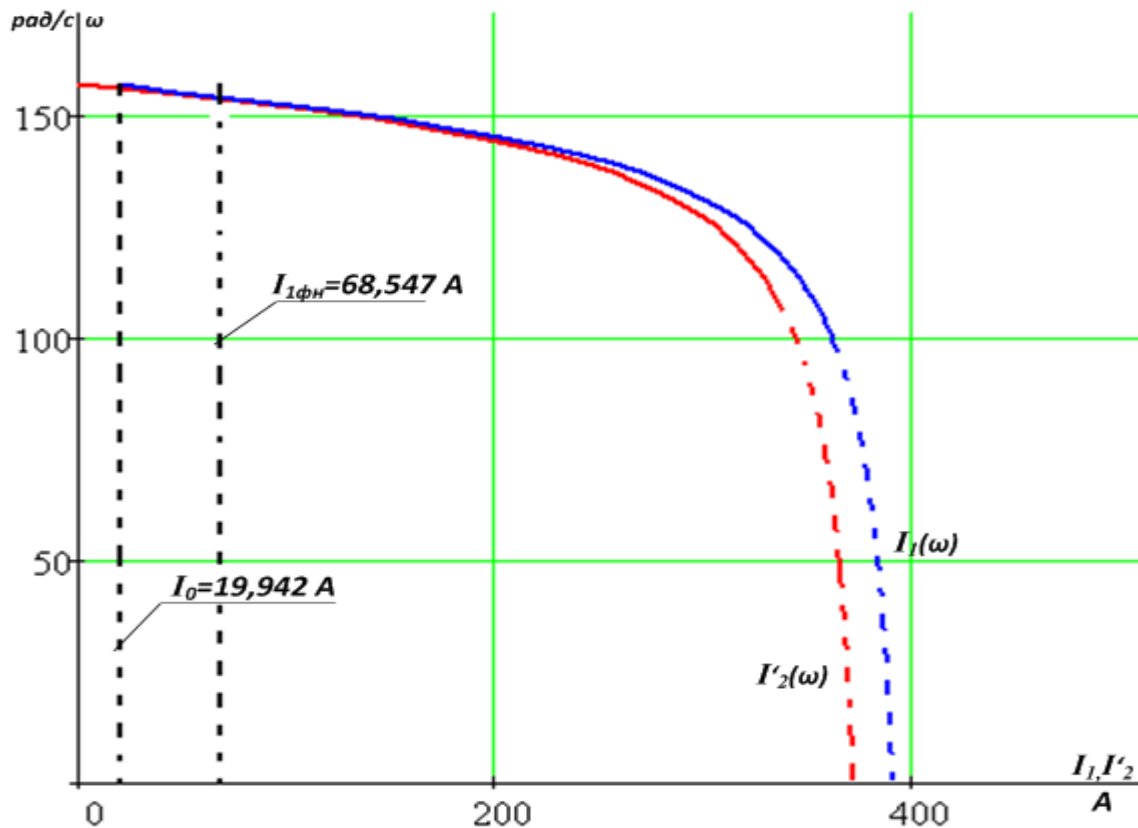


Рисунок 2.2 – Естественные электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ электродвигателя типа АИР200S4

2.2.6 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода при частотном регулировании

Расчет выполняем с использованием программы Rep_AD_MIscl в среде MatCad. При переменных значениях частоты и величины напряжения питающей сети механическая характеристика асинхронного двигателя определяется по следующему выражению:

$$M_{\text{с}} = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 0.067}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[0.559^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(0.126 + \frac{0.067}{s} \right)^2 + \left(\frac{0.126 \cdot 0.067}{s \cdot 10.796 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]},$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора двигателя;

ω_{0j} – синхронная частота вращения асинхронного двигателя;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1\text{н}}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики электродвигателя при законе регулирования $U/f = \text{const}$ представлены на рисунке 2.3.

Электрохимические характеристики при изменении частоты определяются по следующим выражениям:

$$I_2'_{\text{с}} = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}} \right)^2}} =$$

$$= \frac{220 \cdot f_{1*}}{\pm \sqrt{\left(0.126 + \frac{0.067}{s} \right)^2 + 0.559^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{0.126 \cdot 0.067}{s \cdot 10.796 \cdot f_{1*}} \right)^2}}.$$

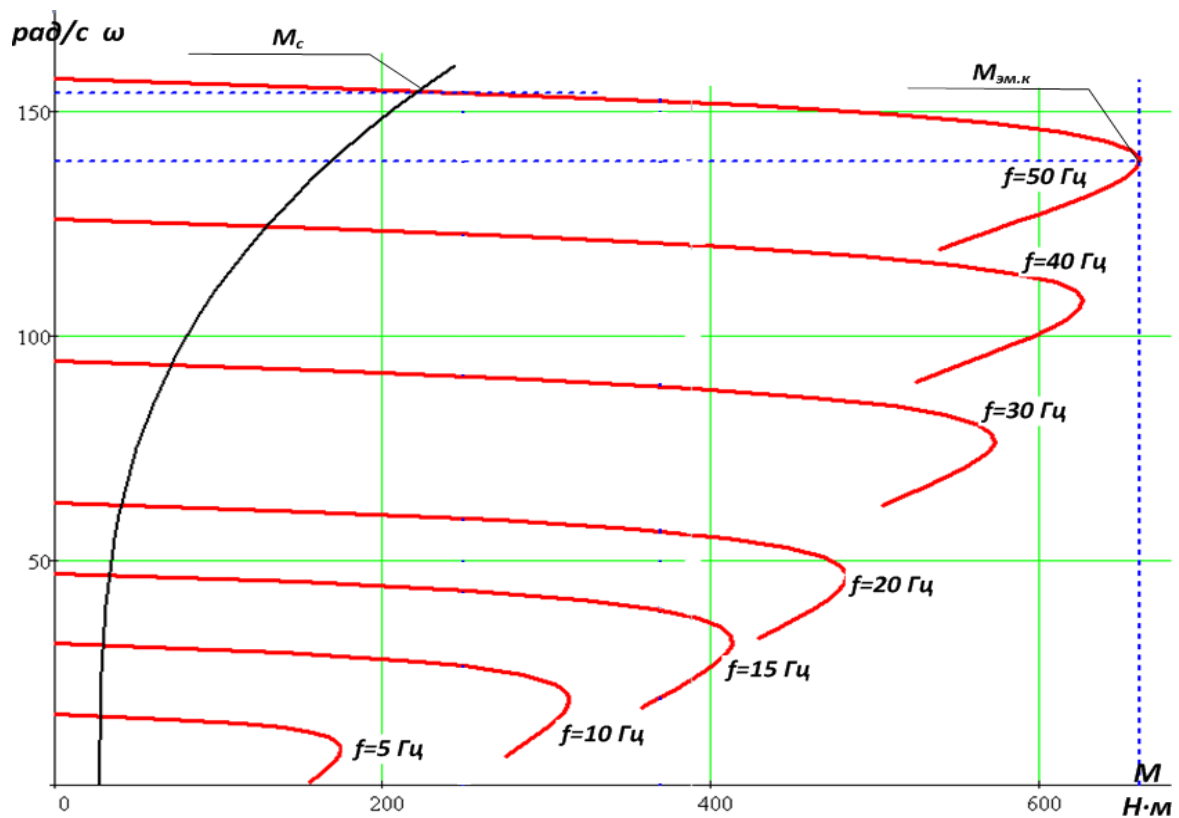


Рисунок 2.3 – Механические характеристики разомкнутой системы ПЧ–асинхронный двигатель

$$I_1 s = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' s \cdot \sin \phi_2 s} =$$

$$= \sqrt{19.942^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot 19.942 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2 s},$$

где

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + x_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{0.559 \cdot f_{1*}}{\sqrt{(0.126 + 0.067/s)^2 + 0.559^2 \cdot f_{1*}^2}};$$

$$I_0 = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + x_{1\text{н}} + x_{\mu\text{н}}^2 \cdot f_{1*}^2}}.$$

Электромеchanические характеристики электродвигателя при законе регулирования $U/f = \text{const}$ представлены на рисунке 2.3.

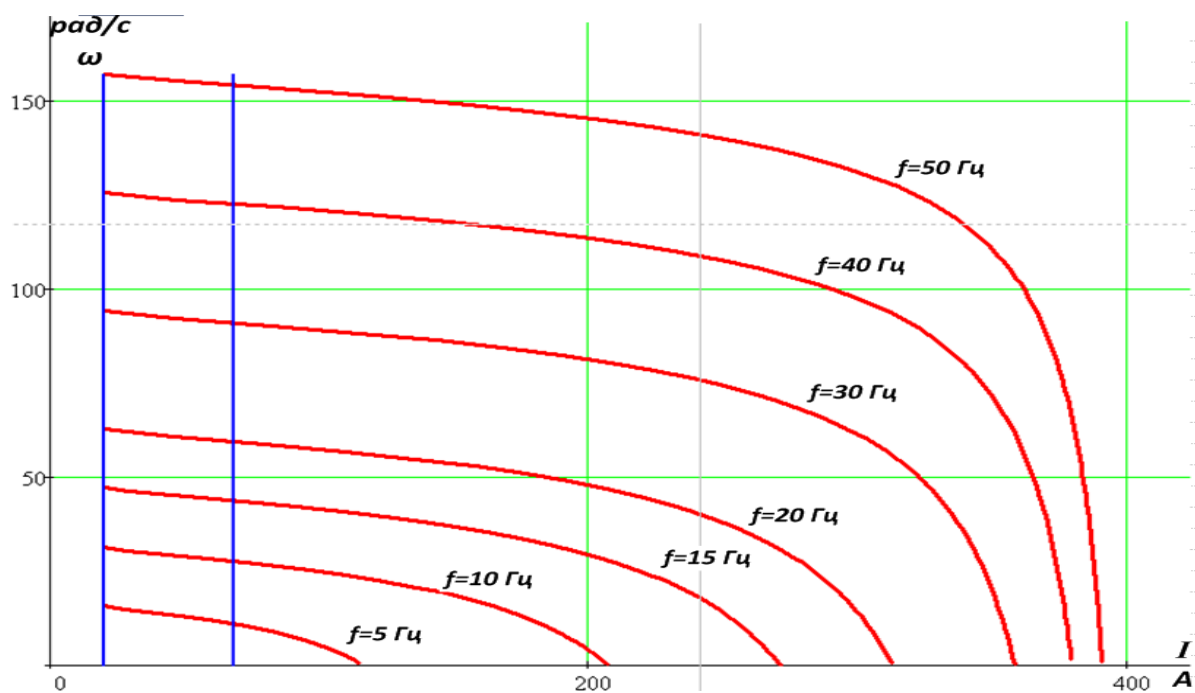


Рисунок 2.4– Электромеханические характеристики I_2' разомкнутой системы ПЧ–асинхронный двигатель

2.3 Расчет характеристик и параметров асинхронного электродвигателя привода вращающихся сеток

2.3.1 Справочные параметры приводного двигателя сеток АИР112МВ6

Технические данные выбранного электродвигателя сведены в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Технические данные электродвигателя

Типоразмер электродвигателя	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{1H}, \text{ В}$	$P_{\text{ДВ.Н}}, \text{ кВт}$	При номинальной нагрузке			$s_k \%$	$J_{\text{ДВ}}, [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$
				$s_H \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta_H \%$		
АИР112МВ6	1000	380	4	5	0.81	82	0.312	0.021

Продолжение таблицы 2.3

$m_{\Pi} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{K}} = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_{\text{H}}}$	$m_{\text{M}} = \frac{M_{\text{МИН}}}{M_{\text{H}}}$	$k_{\text{идв}} = \frac{I_{\text{ПУСК}}}{I_{\text{H}}}$	Степень защиты
2	2.2	1.6	6	IP54

2.3.2 Расчетные параметры электродвигателя АИР112МВ6

Номинальная скорость вращения

$$n_{\text{H}} = n_0 \cdot (1 - s_{\text{H}}) = 1000 \cdot (1 - 0.05) = 950 \frac{\text{об}}{\text{мин}}.$$

Синхронная угловая частота вращения

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3.1415 \cdot 1000}{30} = 104.72 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная угловая частота вращения

$$\omega_{\text{H}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{H}}}{30} = \frac{3.1415 \cdot 950}{30} = 99.484 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный полезный момент на валу двигателя

$$M_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{H}}} = \frac{4 \cdot 10^3}{99.484} = 40.208 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальный ток двигателя

$$I_{1\text{H}} = \frac{P_{\text{H}} \cdot 10^3}{3 \cdot U_{\text{H}} \cdot \cos \phi_{\text{H}} \cdot \eta_{\text{H}}} = \frac{4 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.81 \cdot 0.82} = 9.125 \text{ А}.$$

2.3.3 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя по данным каталога

Расчет выполняем с использованием программы Rep_AD_RL2 в среде MatCad. Предварительное значение тока холостого хода асинхронного электродвигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[p_* \cdot I_{1H} \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H} \right]^2}{1 - \left[p_* \cdot \frac{1-s_H}{1-p_* \cdot s_H} \right]^2}} = \sqrt{\frac{7.294^2 - \left[0.75 \cdot 9.125 \cdot \frac{1-0.05}{1-0.75 \cdot 0.05} \right]^2}{1 - \left[0.75 \cdot \frac{1-0.05}{1-0.75 \cdot 0.05} \right]^2}} = 4.093 \text{ A},$$

где

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \phi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0.75 \cdot 4000}{3 \cdot 220 \cdot 0.81 \cdot 0.82} = 7.294 \text{ A}$$

– ток статора двигателя при частичной нагрузке;

$p_* = \frac{P}{P_H}$ – коэффициент загрузки двигателя, принимаем $p_* = 0.75$;

η_{p_*} – КПД двигателя при частичной нагрузке, $\eta_{0.75} = 0.82$.

Активное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$\begin{aligned} R_2' &= \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot 1-s_H}{2 \cdot m_\kappa \cdot P_{\text{дв}H} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_\kappa} \right)} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1-0.05}{2 \cdot 2.2 \cdot 4000 \cdot 1.037^2 \cdot \left(1.25 + \frac{1}{0.249} \right)} = 1.382 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

где

β – коэффициент, значение которого находится в диапазоне $0.6 \div 2.5$, предварительно принимаем $\beta = 1.25$;

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{\text{доб}} \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{4.093}{2 \cdot 6 \cdot 9.125} = 1.037,$$

– расчетный коэффициент;

$$s_k = s_n \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot m_k - 1]}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot m_k - 1} =$$

$$= 0.05 \cdot \frac{2.2 + \sqrt{2.2^2 - [1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 \cdot 2.2 - 1]}}{1 - 2 \cdot 0.05 \cdot 1 \cdot 2.2 - 1} = 0.249$$

– критическое скольжение двигателя.

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1.037 \cdot 1.382 \cdot 1 = 1.792 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 3.821 \cdot 1.037 \cdot 1.382 = 5.478 \text{ Ом,}$$

где $\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0.249^2} - 1^2} = 3.821.$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенное к обмотке статора рассчитывается следующим образом

$$X_{2\sigma}' = 0.58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{5.478}{1.037} = 3.063 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = 0.42 \cdot X_{KH} = 0.42 \cdot 5.478 = 2.301 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_\mu}{I_0} = \frac{194.588}{4.093} = 47.538 \text{ Ом,}$$

где

$$E_\mu = \sqrt{U_{1H} \cdot \cos \phi_H - I_{1H} \cdot R_1^2 + U_{1H} \cdot \sin \phi_H - I_{1H} \cdot X_{1\sigma H}^2} =$$

$$= \sqrt{220 \cdot 0.81 - 9.125 \cdot 1.792^2 + 220 \cdot \sin(\arccos(0.81)) - 4.96 \cdot 2.301^2} = 194.588 \text{ В}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в статорной обмотке в номинальном режиме.

Полученные расчётные параметры Т-образной схемы замещения электродвигателя сведены в таблице 2.4.

Номинальный электромагнитный момент двигателя

$$M_{\text{дв.эмн}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 3.42}{157.08 \cdot 0.05 \cdot \left[5.478^2 + \left(1.792 + \frac{1.382}{0.05} \right)^2 + \left(\frac{1.792 \cdot 1.382}{0.05 \cdot 47.538} \right)^2 \right]} = 42.715 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, создаваемый силами трения на валу двигателя

$$\Delta M_{\text{с дв}} = M_{\text{дв.эмн}} - M_{\text{дв.н}} = 42.715 - 42.709 = 0.005916 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Таблица 2.4 - Расчетные параметры схемы замещения АД

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{\text{кн}}, \text{Ом}$	$X_{1\sigma}, \text{Ом}$	$X_{2\sigma}', \text{Ом}$	$X_\mu, \text{Ом}$
1.792	1.382	5.478	2.301	3.063	47.538

2.3.4 Расчёт естественных характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика $M(s)$ короткозамкнутого асинхронного двигателя для частоты $f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ определяется выражением:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu} \right)^2 \right]};$$

где M – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

По результатам расчёта (программа Rep_ADMlect в среде MathCad) строим механическая характеристика $\omega(M)$ (рисунок 2.3). Угловую скорость вращения двигателя определяем по выражению

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s).$$

Рассчитываем значения электромагнитного номинального момента

$$M_{\text{эм}}(s_H) = M_{\text{эм}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi_H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1.382}{104.72 \cdot 0.05 \cdot \left[5.466^2 + \left(1.792 + \frac{1.382}{0.05} \right)^2 + \left(\frac{1.792 \cdot 1.382}{0.05 \cdot 47.538} \right)^2 \right]} = 91.845 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

критического скольжения

$$s_K = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 1.382 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{1.792}{47.538} \right)^2}{1.792^2 + 5.466^2}} = 0.24 ;$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.к}} s_H = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\phi_H}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left\{ R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2} \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2 \right] \right\}} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104.72 \cdot \left(1.792 + \sqrt{1.792^2 + 5.466^2} \cdot \left(1 + \frac{1.792^2}{47.538} \right) \right)} = 91.845 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

которые соответствуют расчетной естественной механической характеристике двигателя.

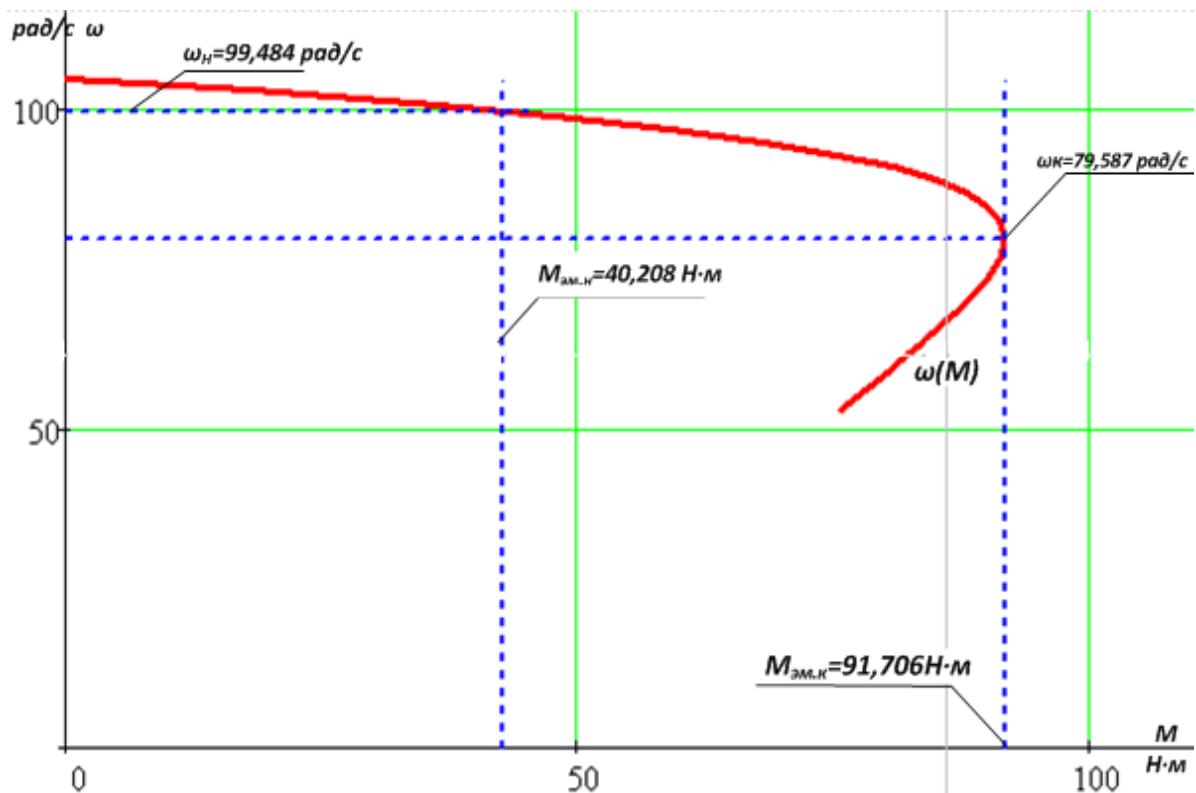


Рисунок 2.5 – Естественная механическая характеристика $\omega(M)$
электродвигателя типа АИР112МВ6

Расчет механической характеристики двигателя был сделан для электромагнитного момента, поэтому необходимо учесть собственный электромагнитный момент на валу двигателя. Момент, возникающий в результате действия сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным:

$$\Delta M_{с.дв} = M_{эм.н} - M_{дв.н} = 42.715 - 40.208 = 2.507 \text{ Н·м},$$

2.3.5 Естественная электромеханическая характеристика двигателя

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ короткозамкнутого асинхронного двигателя для частоты $f_{1н} = 50 \text{ Гц}$ определяется выражением:

$$I_1 s = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' s \cdot \sin \varphi_2 s}$$

$$= \sqrt{4.411^2 + 7.345^2 + 2 \cdot 4.411 \cdot 7.345 \cdot \sin \varphi_2 s} = 9.232,$$

где $I_1 = I_{1\phi}$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,093 + \frac{0,082}{s}\right)^2 + 0,861^2 + \left(\frac{0,093 \cdot 0,082}{s \cdot 9,713}\right)^2}},$$

– приведённый к обмотке статора ток ротора, А;

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_{1\sigma} + X_\mu\right)^2}} = \frac{220}{\sqrt{1.792^2 + 2.301 + 47.538^2}} = 4.411 \text{ А},$$

действующее значение тока холостого хода;

$$\sin \phi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2}} = \frac{0.861}{\sqrt{\left(1.792 + \frac{1.382}{s}\right)^2 + 5.466^2}}.$$

По полученным результатам расчёта (программа Rep_AD_Mtest в среде MathCad) строим электромеханические характеристики двигателя $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ (рисунок 2.4).

Номинальный ток статора $I_H(s_H)$ и максимальный ток двигателя $I_{1\text{макс}}(s=1)$ при прямом пуске, рассчитаны для значений скольжения $s = s_H$ и $s = 1$.

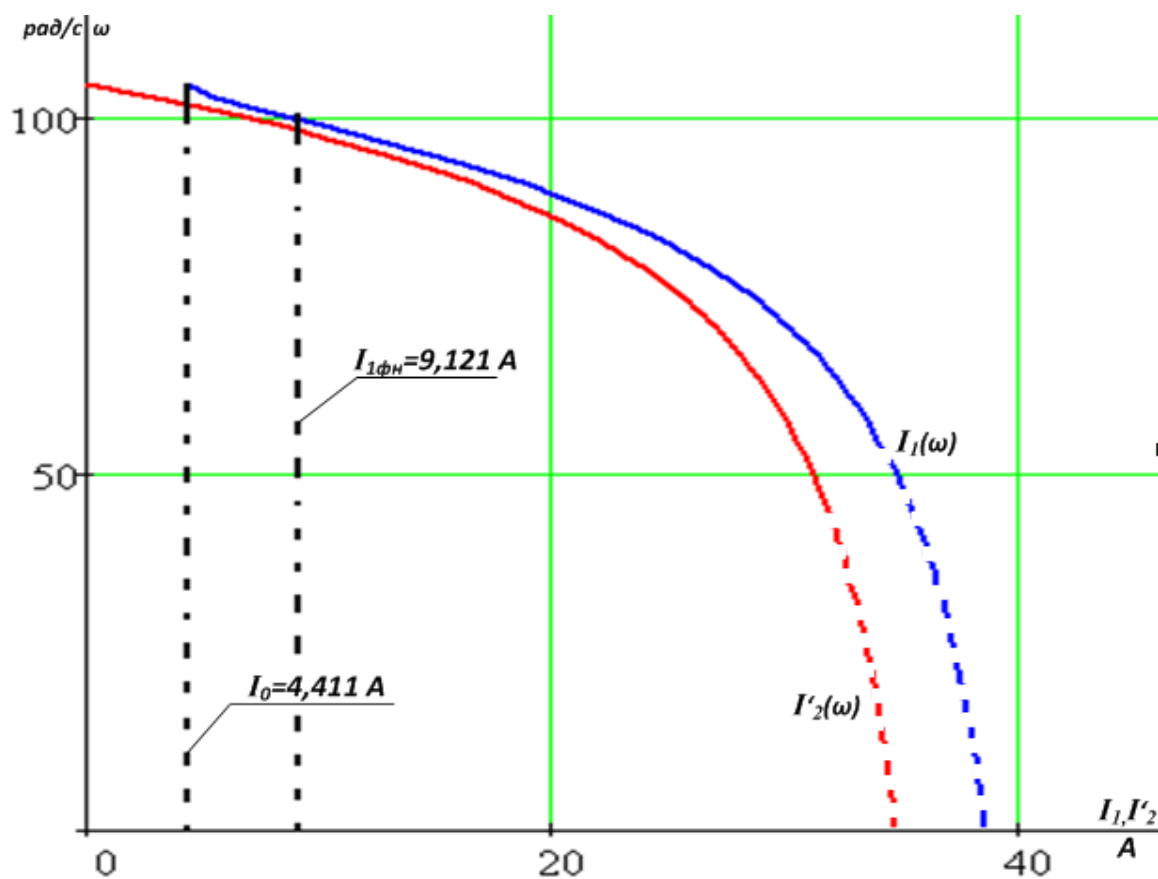


Рисунок 2.6 – Естественные электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ и $\omega(I_2')$ электродвигателя типа АИР112МВ6

2.3.6 Расчет механических и электромеханических характеристик электропривода

Расчет выполняем с использованием программы Rep_AD_MIscl. При переменных значениях величины и частоты напряжения питающей сети механическая характеристика асинхронного двигателя определяется по следующему выражению:

$$M_s = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot R_2'}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{лн}} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot f_{1*}^2 \cdot 1.382}{\omega_{0j} \cdot s \cdot \left[5.478^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(1.792 + \frac{1.382}{s} \right)^2 + \left(\frac{1.792 \cdot 1.382}{s \cdot 47.538 \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]},$$

где U_{1j} – фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя;

ω_{0j} – синхронная частота вращения двигателя;

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1н}$ – относительное значение частоты питающего напряжения.

Механические характеристики двигателя при законе регулирования $U/f = \text{const}$ представлены на рисунке 2.7

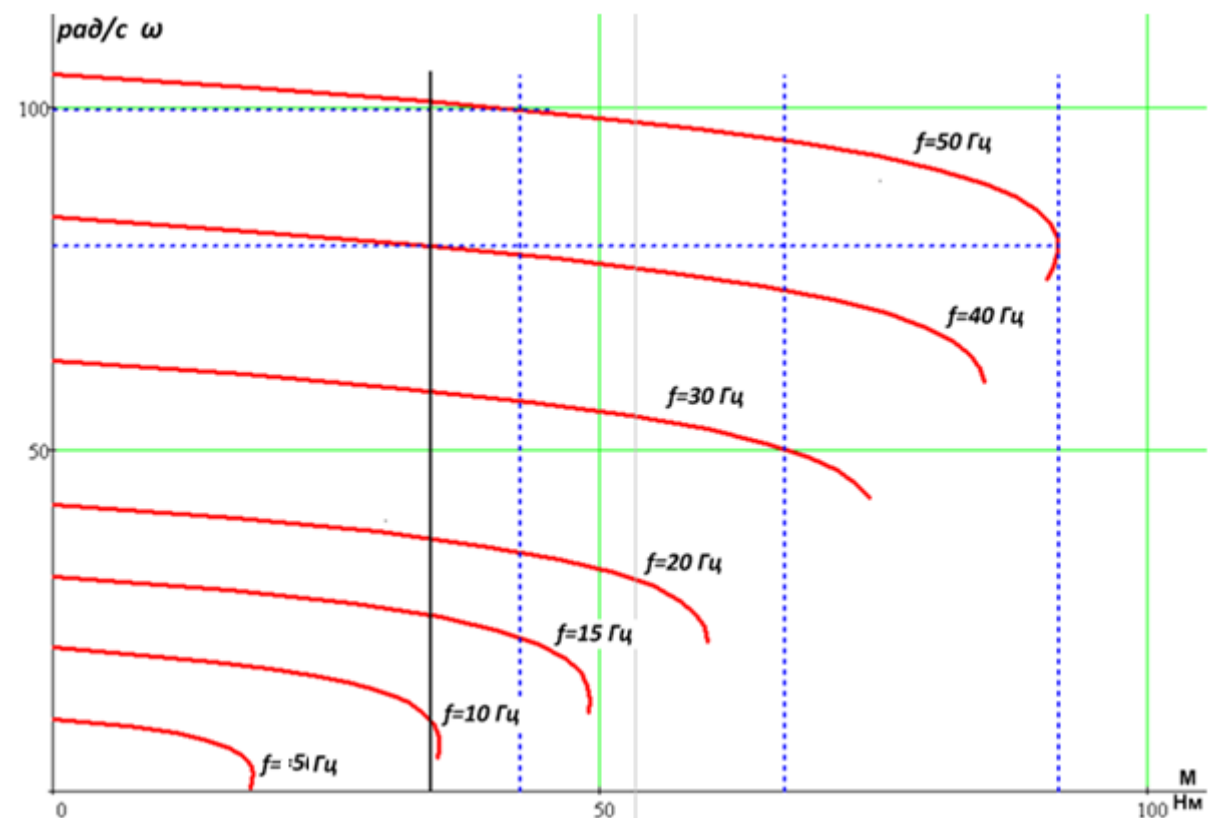


Рисунок 2.7 – Механические характеристики разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный двигатель

Электромеханические характеристики, определяющие зависимость приведенного тока ротора от скольжения s при законе управления $U/f = \text{const}$, определяются следующим образом

$$I_2' s = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu\text{н}} \cdot f_{1*}}\right)^2}} =$$

$$= \frac{220 \cdot f_{1*}}{\pm \sqrt{(1.792 + 1.382/s)^2 + 5.478^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(\frac{1.792 \cdot 1.382}{s \cdot 47.538 \cdot f_{1*}}\right)^2}}.$$

Вид расчетного выражения для электромеханических характеристик $I_1 = f(s)$, отражающих зависимость тока статора I_1 от скольжения

$$I_1 s = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' s \cdot \sin \phi_2 s} =$$

$$= \sqrt{4.411^2 + I_2'^2 s + 2 \cdot 4.411 \cdot I_2' \cdot \sin \phi_2 s},$$

$$\text{где } \sin \phi_2 = \frac{x_{\text{кн}} \cdot f_{1*}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + x_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1*}^2}} = \frac{0.861 \cdot f_{1*}}{\sqrt{(1.792 + 1.382/s)^2 + 5.466^2 \cdot f_{1*}^2}};$$

Электромеханические характеристики электродвигателя при законе управления $U_1/f_1 = \text{const}$ представлены на рисунке 2.8.

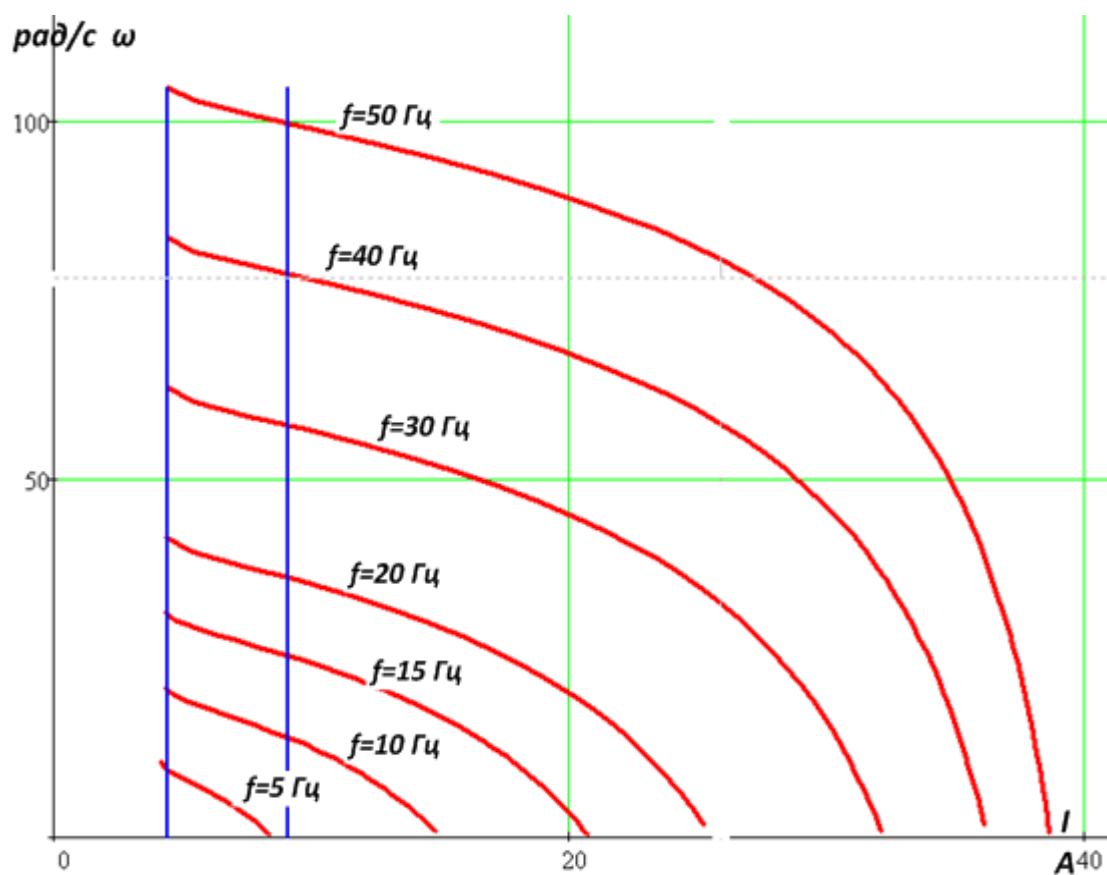


Рисунок 2.8 – Электромеханические характеристики $I_2' \in \omega$
 разомкнутой системы преобразователь частоты–асинхронный
 двигатель

2.4 Обоснование и выбор преобразователя электрической энергии

Управление электродвигателем с точки зрения автоматизации заключается в осуществлении пуска, торможения, реверса и изменения скорости вращения на протяжении всей его работы в зависимости от требований технологического процесса.

Частотное регулирование электродвигателя посредством преобразователя частоты имеет достаточный ряд преимуществ.

Возможность плавного регулирования скорости вращения электродвигателя позволяет во многом упростить механическую часть системы за счет отказа от применения, например, редукторов, дросселей и другой аппаратуры регулирования и тем самым повысить надежность и снизить расходы на эксплуатацию.

Плавный пуск и останов двигателя насосного оборудования позволяет решить проблему гидроударов в напорных трубопроводах.

Применение частотного регулирования позволяет значительно экономить электрическую энергию. Для питающей сети ПЧ является чисто активной нагрузкой и потребляет ровно столько энергии, сколько требуется для выполнения механической работы (с учетом КПД двигателя и преобразователя)

2.4.1 Выбор преобразователя частоты серии G120

Серия преобразователей частоты G120 в определенной степени является усовершенствованием и развитием серии Micromaster 440 [9]. Отличия новой серии заключается в модульности конструкции, новой концепции системы охлаждения, простоте монтажа и ввода в действие, наличии рекуперации энергии в сеть при четырехквадратичном режиме работы. Это универсальный модульный преобразователь, который найдет массовое применение для широкого спектра промышленных механизмов.

Некоторыми областями применения преобразователей частоты этой серии являются:

- электроприводов насоса, вентиляторов, компрессоров, требующие регулирования скорости;

Каждый преобразователь серии состоит из двух составных частей – модуля управления и силового модуля.

Применяем силовой модуль исполнения РМ 240 на напряжения питания 380-480 В, с тормозным ключом и внешним тормозным резистором.

Основные возможности.

- Диапазон мощностей:

От 0,37 кВт до 250 кВт (380-480 В);

От 0,55 кВт до 55 кВт (600-690 В);

- Выходная частота в пределах от 0 до 650 Гц;

- два использования по перегрузке:

высокая – $1,5 I_n$ 57с или $2,0 I_n$ 3с, в цикле 300с;

низкая – $1,1 I_n$ 57с или $1,5 I_n$ 3с, в цикле 300с[10].

Модули могут легко комбинироваться друг с другом. Это дает возможность создавать электроприводы любой конфигурации, легко адаптируемые для решения задач разной степени сложности. Взаимозаменяемость различных модулей обеспечивает простоту

обслуживания и быстроту построения необходимых модификаций в зависимости от потребностей.

Наличие стандартной функции рекуперации у силовых модулей дает такие дополнительные полезные эффекты, как:

- отсутствие необходимости в дополнительном дорогостоящем оборудовании;
- снижение потерь и тепловыделение;
- компенсация реактивной мощности;
- независимость от колебаний напряжения сети и надежная работа даже при его просадках;
- отсутствие опасности режима «опрокидывания» преобразователя в режиме рекуперации.

Регулирование скорости электродвигателя может производиться по линейному закону постоянства U/f , квадратичному закону или путем параметрического задания закона U/f . Возможно векторное управление скоростью или моментом с импульсным датчиком скорости и без последнего.

Конструктивное исполнение представляет из себя законченную конструкцию обеих модулей типа шасси, причем модуль управления присоединяется к силовому модулю. Рабочая температура от -10 до +50 С при влажности до 95%.

Таблица 2.5 Выбор ПЧ-АД

Заказной номер, с фильтром	Мощность при базовой нагрузке НО	Входной ток при базовой нагрузке НО	Выходной ток при нагрузке НО
6SL3224-0BE25-5UA0	5.5 кВт	16.7 А	13.2 А
6SL3224-0BE34-5UA0	45кВт	108А	90А

3 Разработка и исследование электроприводов со скалярным управлением

Скалярное управление одно из простейших вариантов реализации частотного – регулируемого асинхронного электропривода, имеющие не высокие качественные показатели: небольшой диапазон регулирования скорости, большую погрешности скорости и малое быстродействие, что обусловлено необходимостью применения задатчика интенсивности скорости.

3.1 Разработка имитационных моделей электропривода со скалярным управлением

На рисунок 3.1 приведена функциональная схема реализации асинхронного частотно-регулируемого электропривода со скалярным управлением без датчика скорости. Основными функциональными элементами регулируемого асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением являются:

- преобразователь частоты;
- блок управления преобразователем, включающий в себя формирователь 3-фазной системы управляющих напряжений U_{1a} , U_{1b} и U_{1c} , формирователь 6-канального ШИМ-сигнала и блок драйверов;
- формирователь $\frac{U}{f}$ - характеристики;
- датчики в общем случае линейного тока двигателя;
- блок расчета значения действующего фазного тока двигателя;
- элемент сравнения допустимого и фактического значения действующего фазного тока двигателя и регулятор ограничения тока;
- блок компенсации скольжения;

– блок коррекции управления напряжением инвертора в функции фактического значения напряжения звена постоянного тока U_d преобразователя.

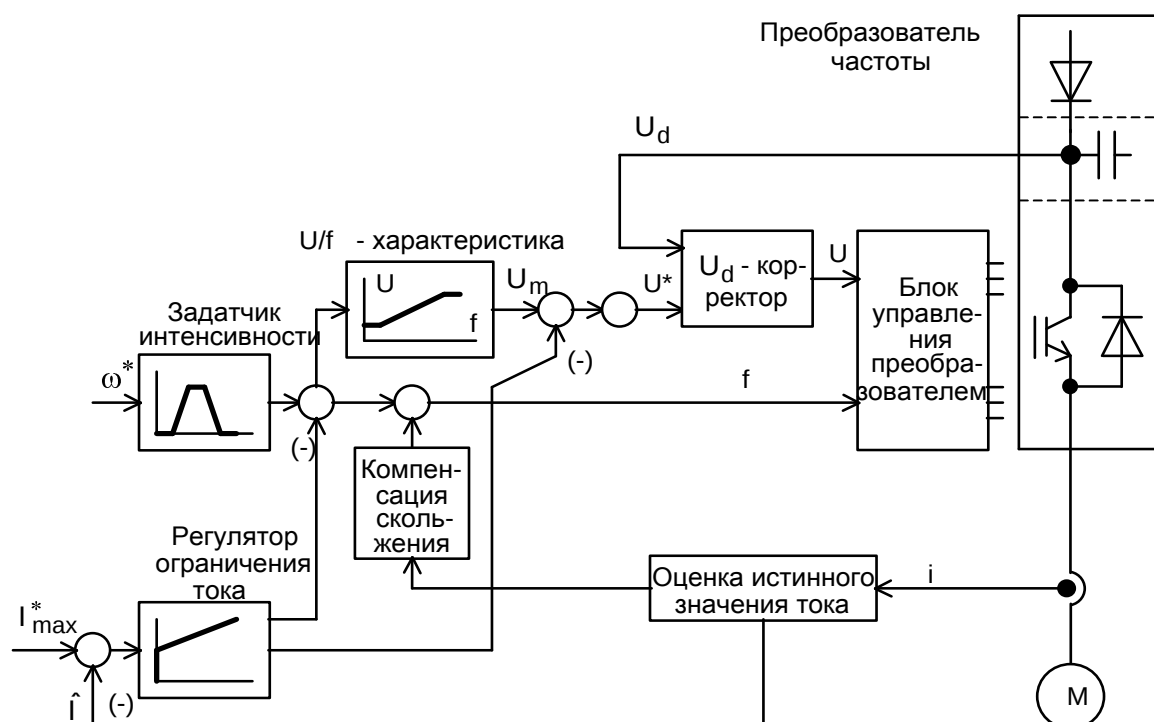


Рисунок 3.1 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

В функциональной схеме асинхронного электропривода со скалярным управлением используются следующие варианты реализации моделей:

- имитационная модель электрической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель – рисунок 3.2;
- имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой – рисунок 3.3;
- имитационная модель двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат – рисунок 3.4;
- модель системы управления асинхронного электропривода с частотным скалярным управлением – рисунок 3.5.

– имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера – рисунок 3.6.

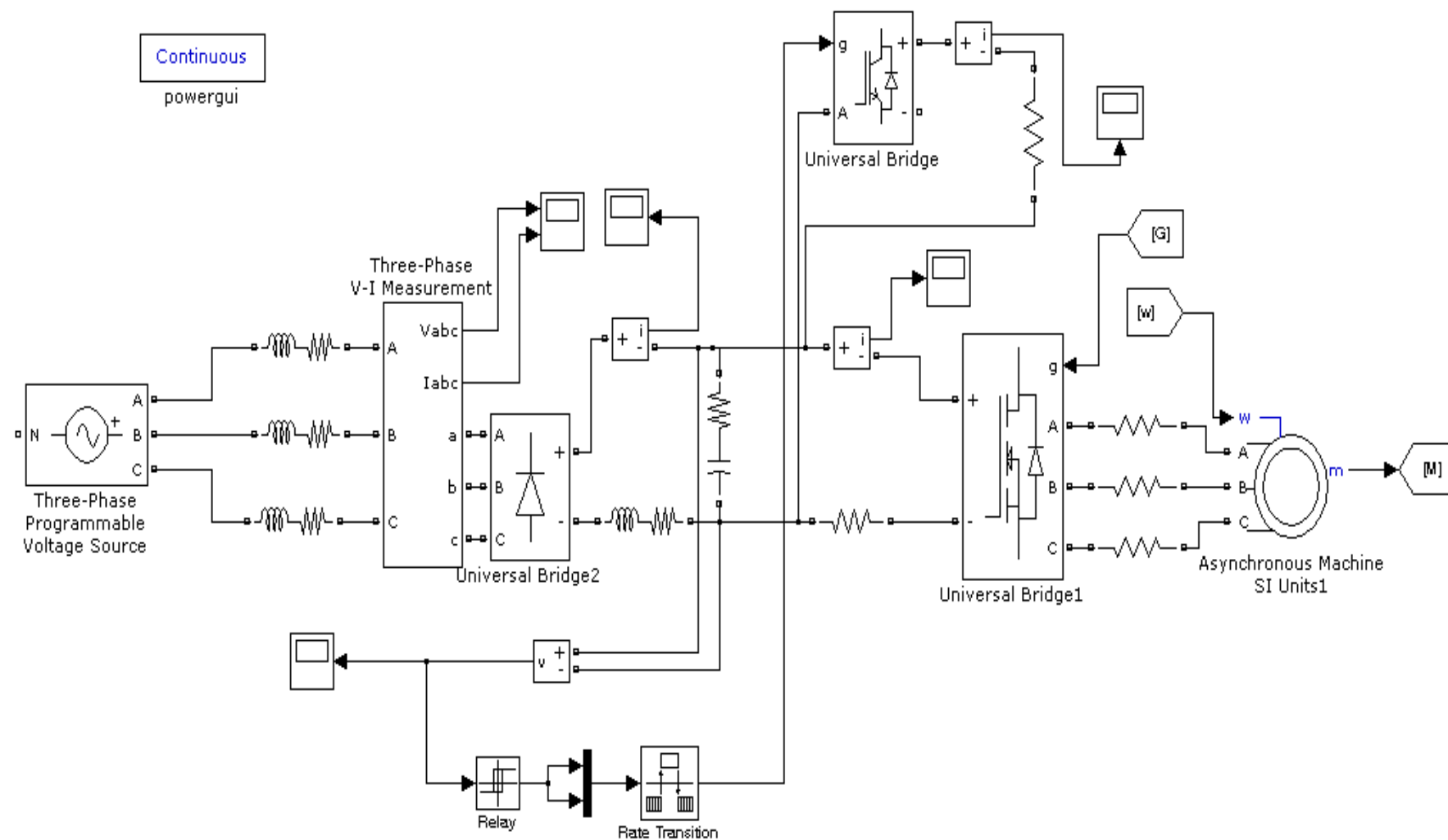


Рисунок 3.2 – Имитационная модель электрической части силового канала насоса системы преобразователь частоты синхронного электродвигателя

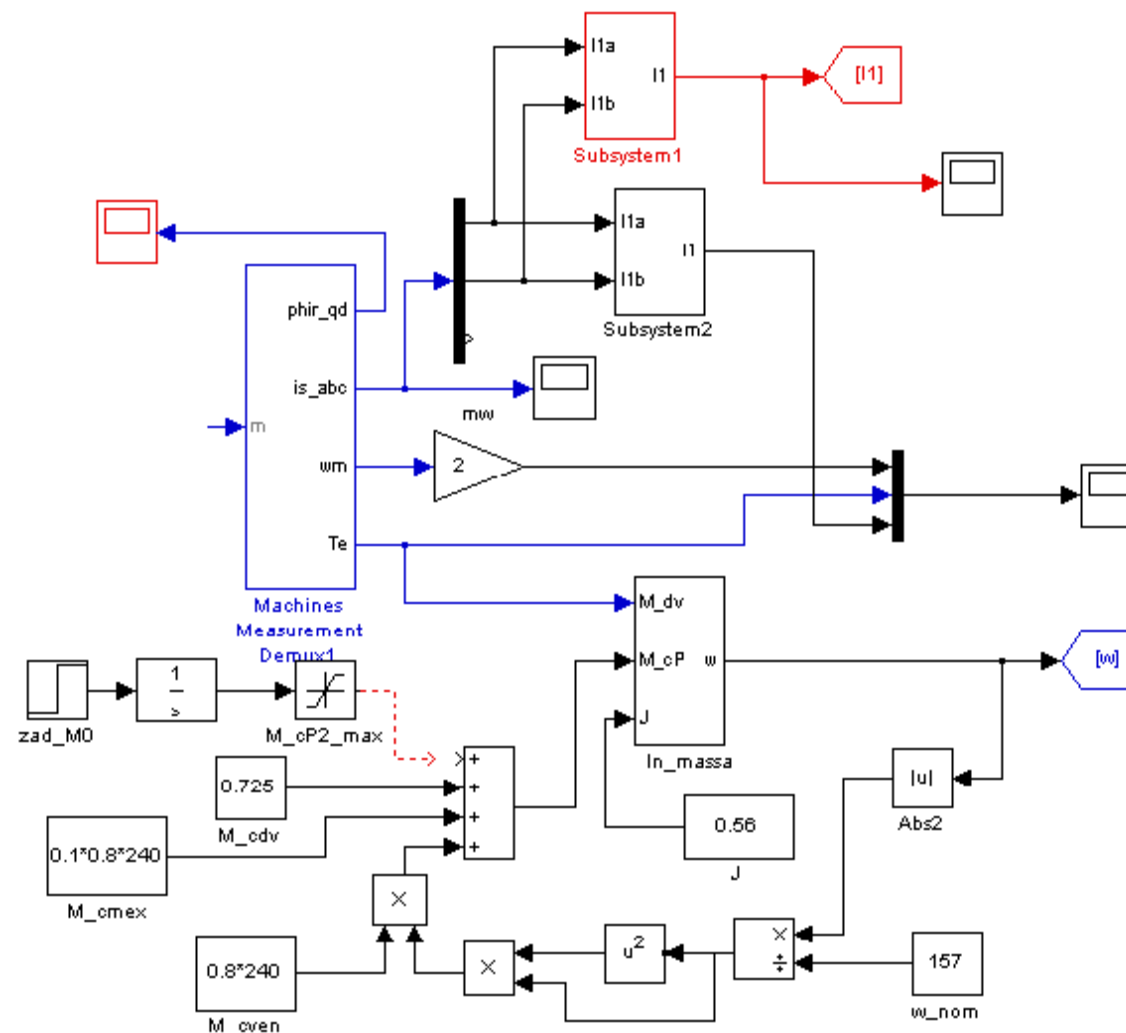


Рисунок 3.3 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с насосной нагрузкой

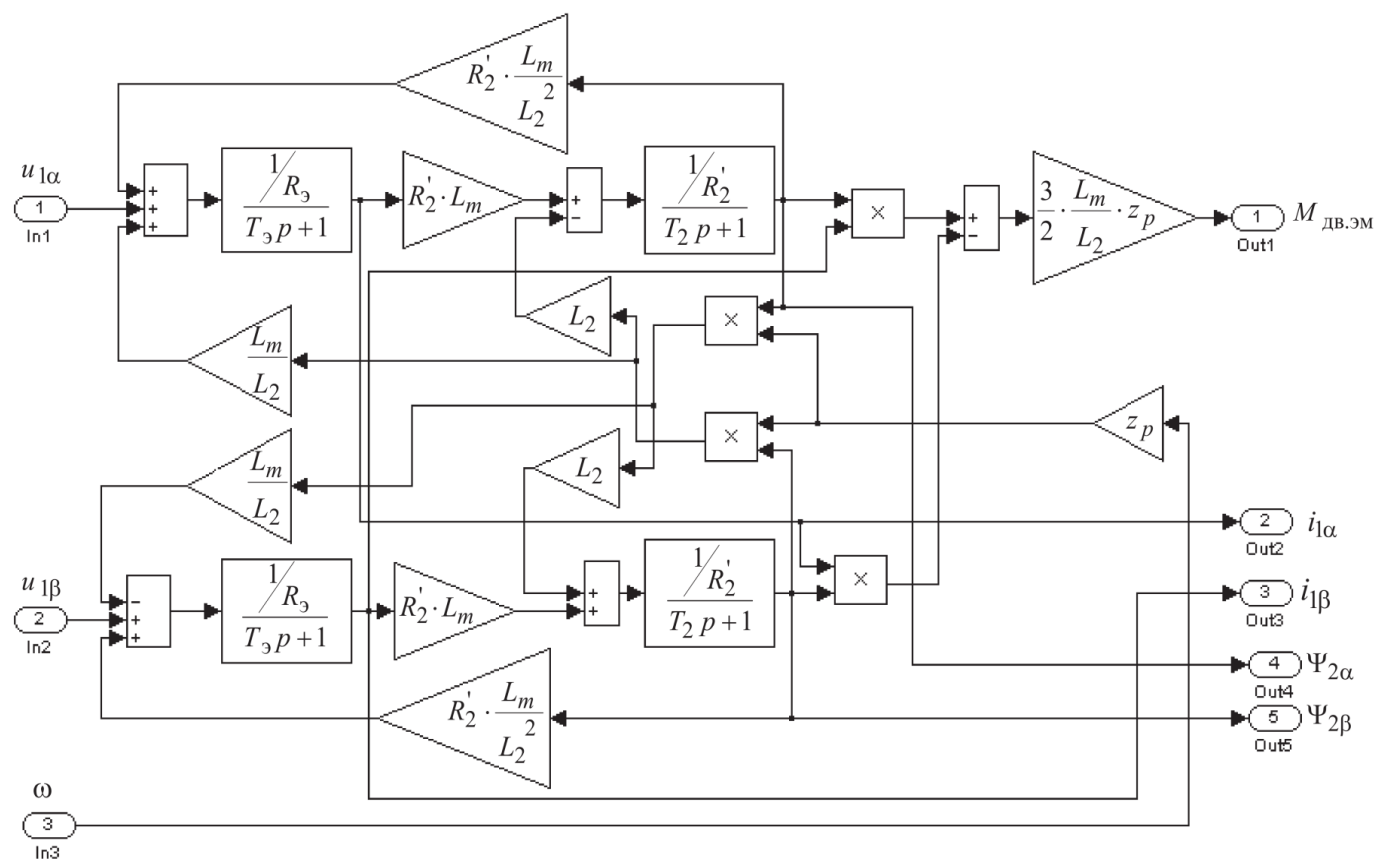


Рисунок 3.4 – Имитационная модель двухфазного асинхронного электродвигателя в неподвижной системе координат

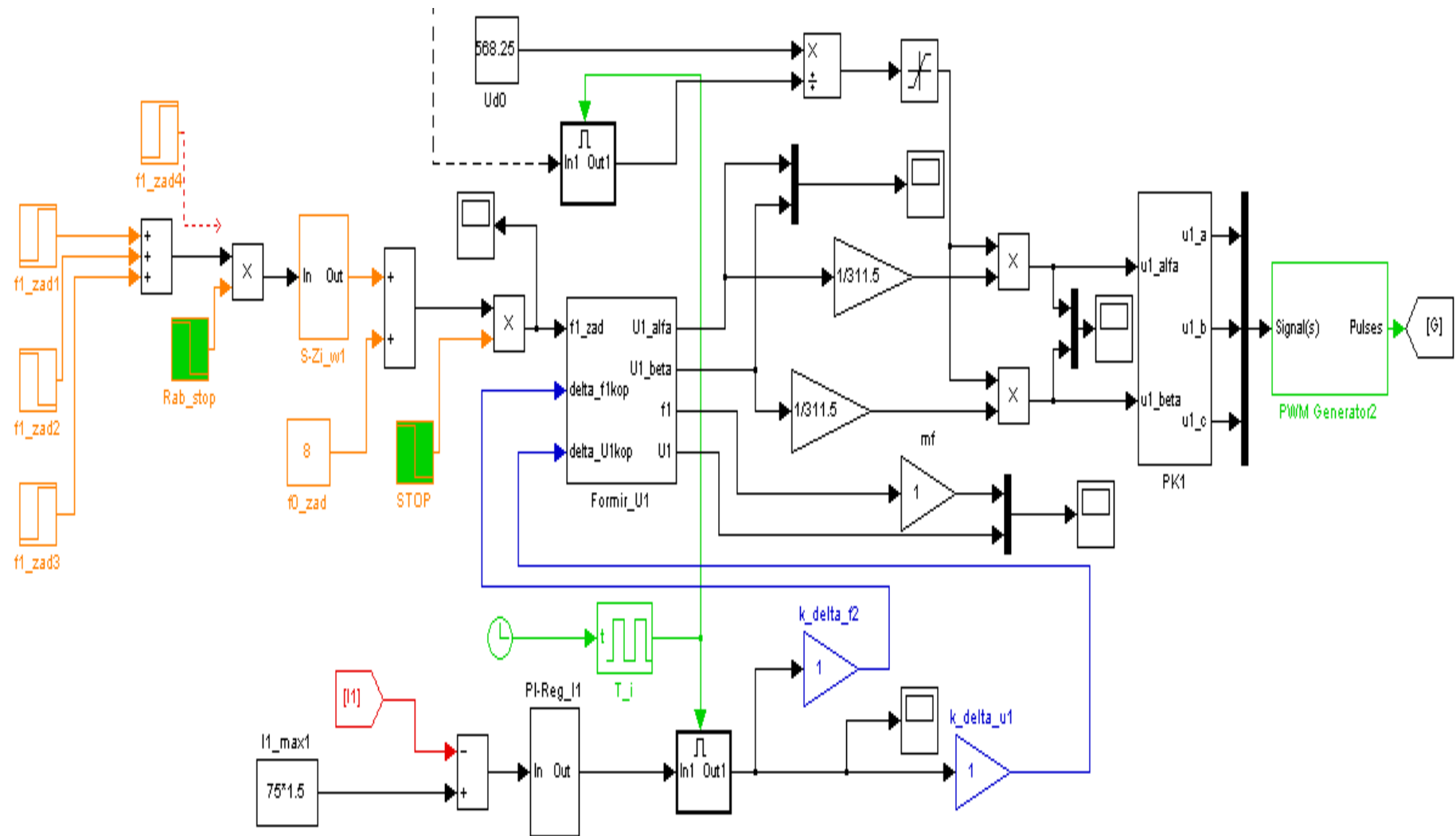


Рисунок 3.5 – Имитационная модель системы управления электропривода с частотным скалярным управлением

Одномассовая механическая система с реактивной нагрузкой

Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера, используемая при моделировании систем электропривода, представлена на рисунок 3.6.

На схеме рисунка 3.6 приняты следующие дополнительные обозначения:

$M_{эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м;

$M_{ср}$ – приведенный к валу двигателя статический момент реактивного характера, Н·м;

J_3 – приведенный к валу двигателя эквивалентный момент инерции движущихся масс, кг·м².

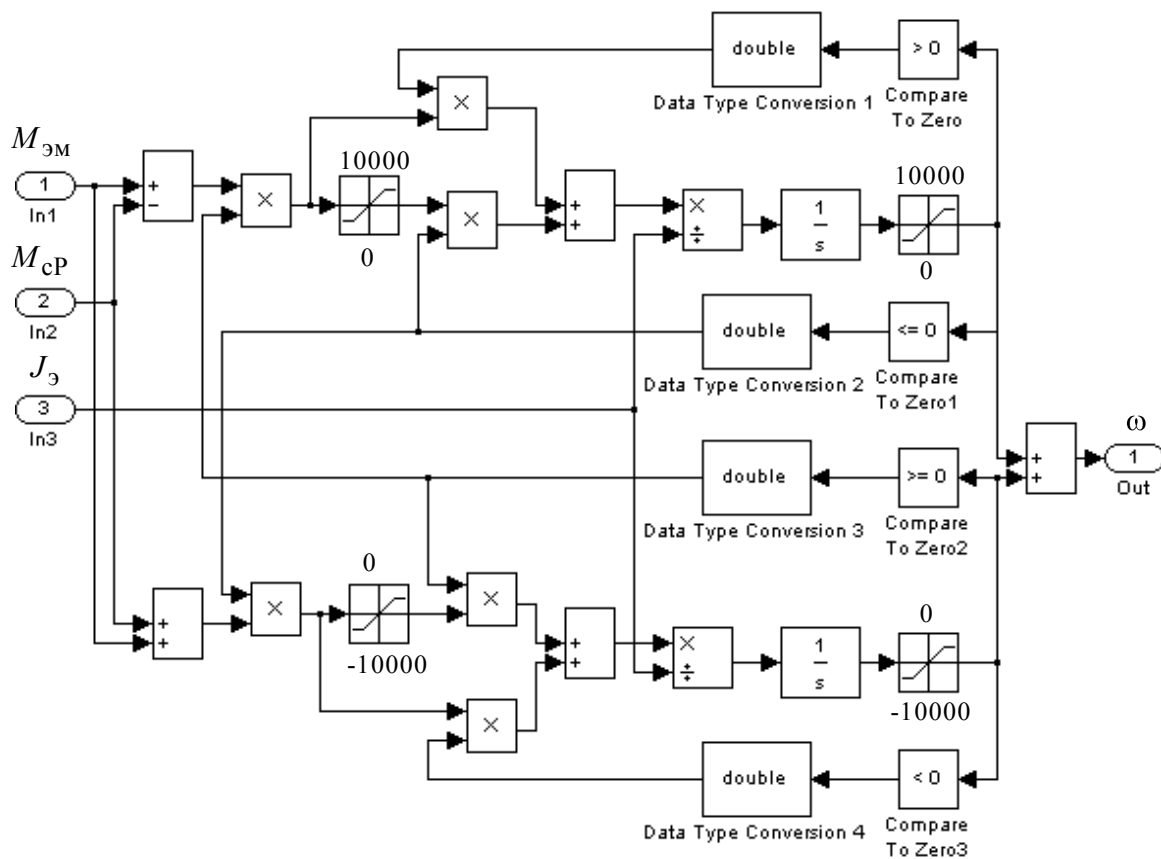


Рисунок 3.6 – Имитационная модель блока одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

3.2 Исследование электропривода насоса и вращающихся сеток с частотным скалярным управлением

Наиболее жесткие и противоречивые требования к электроприводу предъявляются в режиме пуска и останова сетки и насоса. В связи с этим требуется ограничение рывка (второй производной скорости), обеспечивающее мягкий выбор люфтов в редукторе, плавное включение в работу сетки и насоса. Кроме того, необходимо ограничение максимального ускорения (второй производной скорости) электропривода в легких переходных процессах при порожней механизма и ограничение максимального момента электропривода в тяжелых переходных процессах при загруженной механизма. В случае многодвигательного электропривода механизма дополнительно возникают требования равномерного распределения нагрузок и согласования скоростей приводных двигателей.

Программа исследований электропривода

Работа электропривода механизма исследуется в двух режимах:

- плавный пуск механизма с порожней до заданной рабочей скорости – загрузка механизма – работа механизма с выбранной скоростью – плавное снижение скорости и останов.
- плавный пуск механизма до заданной рабочей скорости – работа механизма с выбранной скоростью – плавное снижение скорости и останов.

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода насоса и сетки при скалярном управлении приведены в приложении А и приложении В.

Параметры элементов силового канала электропривода насоса и сетки

Справочные технические параметры электродвигателя сетки приведены в таблице 2.1 в 2.2.1

Параметры двигателя, принятые при расчете

$$\eta_{0.75}=0.82, \cos \varphi_{0.75}=0.81; \beta = 1.25$$

Расчетные параметры асинхронного электродвигателя

$$R_1 = 1.792 \text{ Ом} \quad L_{1\sigma} = 0.007323 \text{ Гн}$$

$$R_2' = 1.382 \text{ Ом} \quad L_{2\sigma}' = 0.009748 \text{ Гн}$$

$$L_m = 0.151 \text{ Гн}$$

$$z_p = 3$$

$$\omega_n = 157.08 \text{ рад/с}, \quad I_H = 9.125 \text{ А}, \quad M_H = 40.208 \text{ Н·м}.$$

Параметры преобразователя частоты серии Micromaster

$$I_{и.н} = 9.125 \text{ А} \text{ или } I_{и.длит.доп} = 4.563 \text{ А при } f_{\text{шим}} \leq 5000 \text{ Гц}.$$

$$I_{и.макс} = 19.8 \text{ (60 с)}$$

$$f_{\text{шим}} = 5000 \text{ Гц (выбрано на основании зависимости } I_{и.длит.доп}(f_{\text{шим}}) \text{ [3, рис. 5.13])}.$$

Параметры элементов силового канала электропривода

Выбираем параметры сетевого трансформатора или реактора в соответствии с таблицей 3.1 для расчетного значения номинального тока обмотки фазы

$$I_{p\phi_n} = I_{1\phi_n} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_{1\phi_n}}{U_c} = 87.44 \text{ А}.$$

Таблица 3.1

$I_{p\phi_n}, \text{ А}$	12.3	20.5	41	82	165	265	410	660	820
$L_p, \text{ мГн}$	3	2	1	0.5	0.25	0.156	0.1	0.064	0.05
$R_p, \text{ мОм}$	450	265	100	37	13	7.2	3.8	2.1	1.4
$I_{dH}, \text{ А}$	15	25	50	100	200	320	500	800	1000

Принимаем $R_p = 0.03 \text{ Ом}$, $L_p = 0.4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$.

Принимаем $C = 100 \cdot 45 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$ из условия

$C \approx (100 \div 300) \cdot P_H$, мкФ, где P_H – номинальная мощность двигателя, кВт.

Параметры механической системы электропривода

$$\Delta M_{с\text{ дв}} = 2.507 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{с\text{ Р мин}} = 6.228 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{с\text{ Р макс}} = 66.835 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

На рисунках 3.7 и 3.9 приведены диаграммы отработки электроприводами насоса и сетки имитационного цикла работа: пуск на 50 Гц – переход на 30 Гц – переход на 50 Гц – торможение и останов механизма.

На рисунках 3.8 и 3.10 приведены диаграммы отработки электроприводом насоса и сетки имитационного цикла: пуск на 50 Гц – работа в рабочем режиме – внезапная перегрузка по моменту.

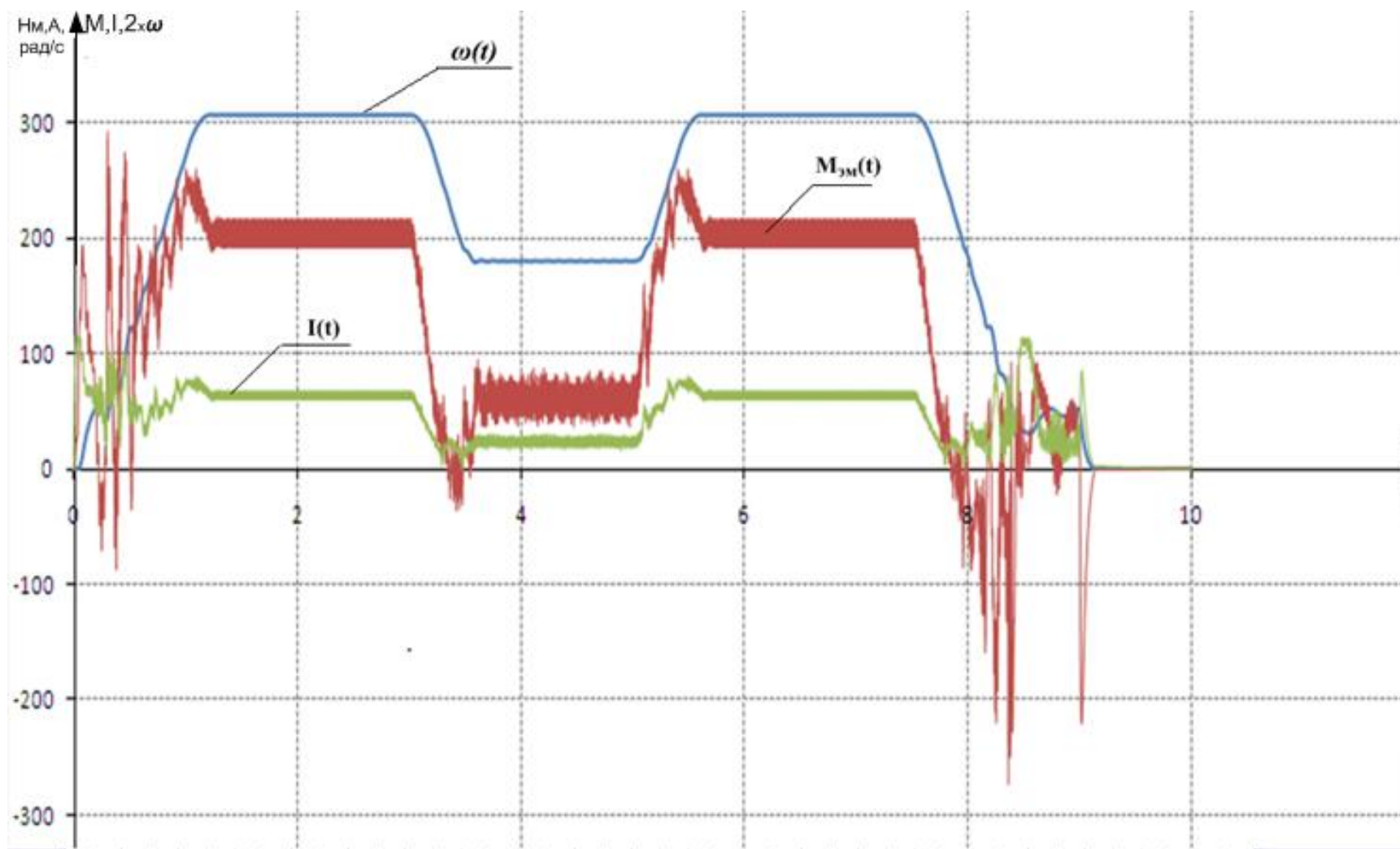


Рисунок 3.7 – Диаграммы отработки электроприводом насоса цикла: пуск на 50Гц – переход на 30Гц –переход на 50 Гц– торможение и останов

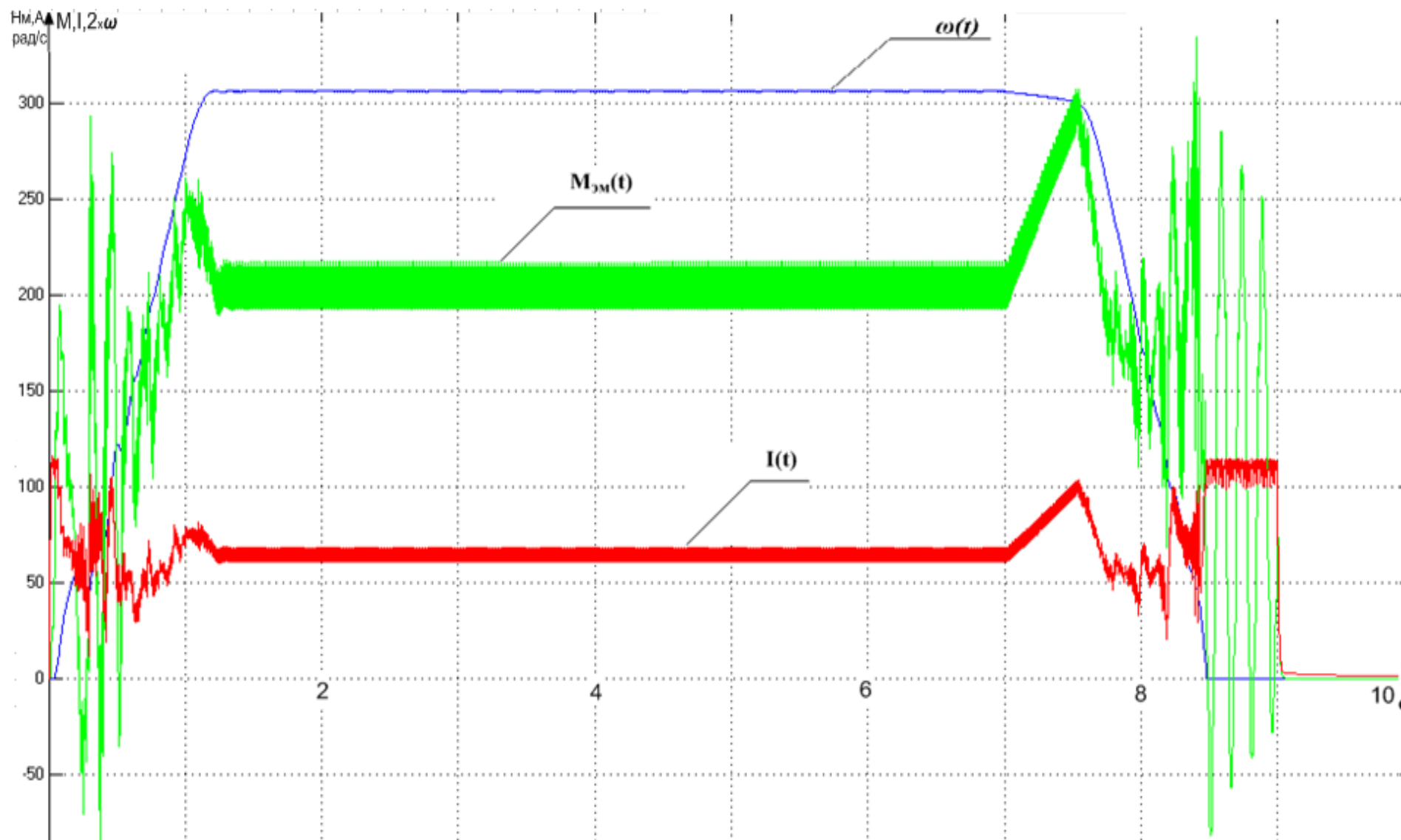


Рисунок 3.8 – Диаграммы работы электропривода насоса при частоте 50 Гц в рабочем режиме и внезапной перегрузке по моменту

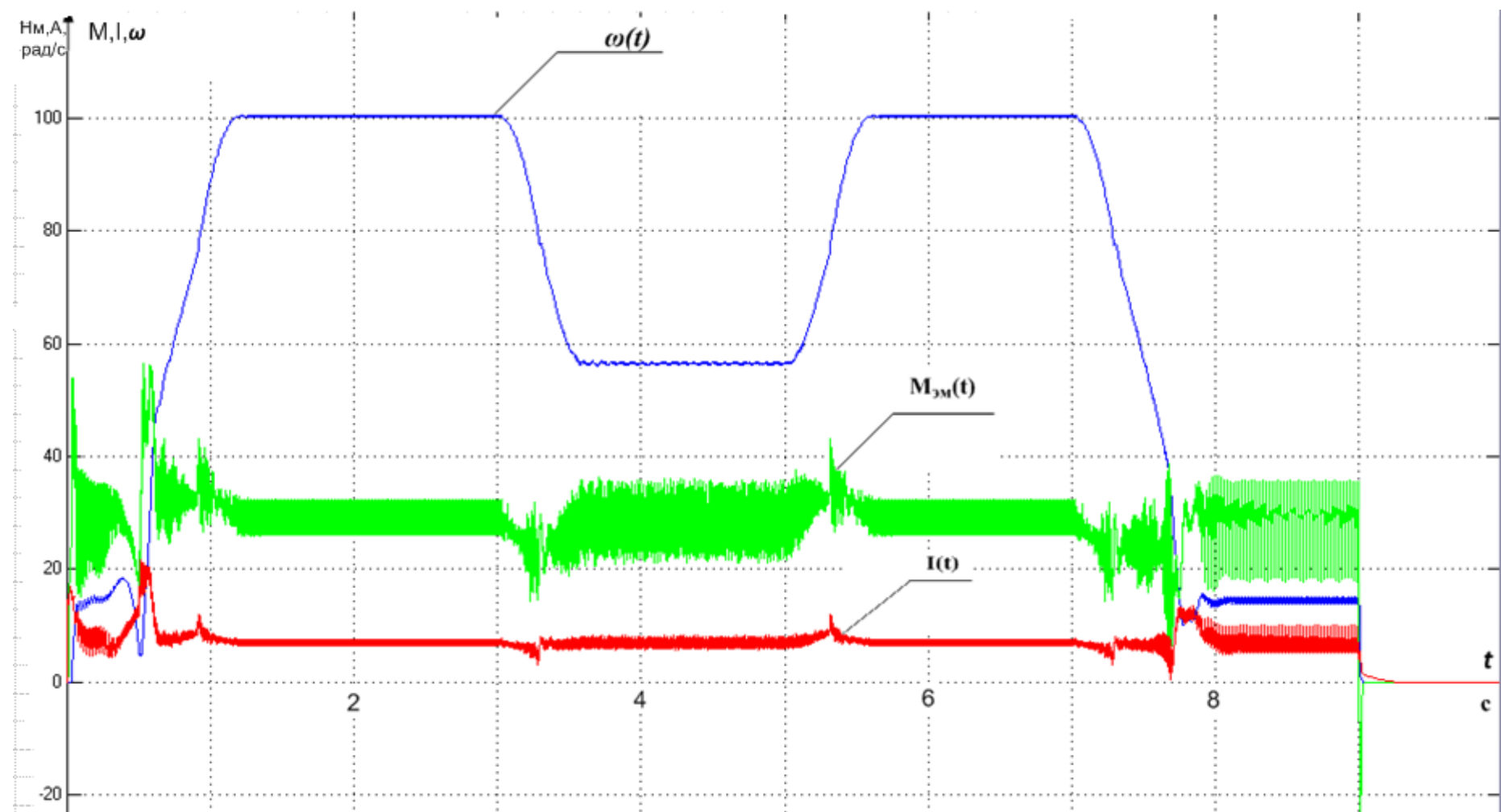


Рисунок 3.9 – Диаграммы отработки электроприводом сетки цикла: пуск на 50Гц – переход на 30Гц –переход на 50 Гц– торможение и останов

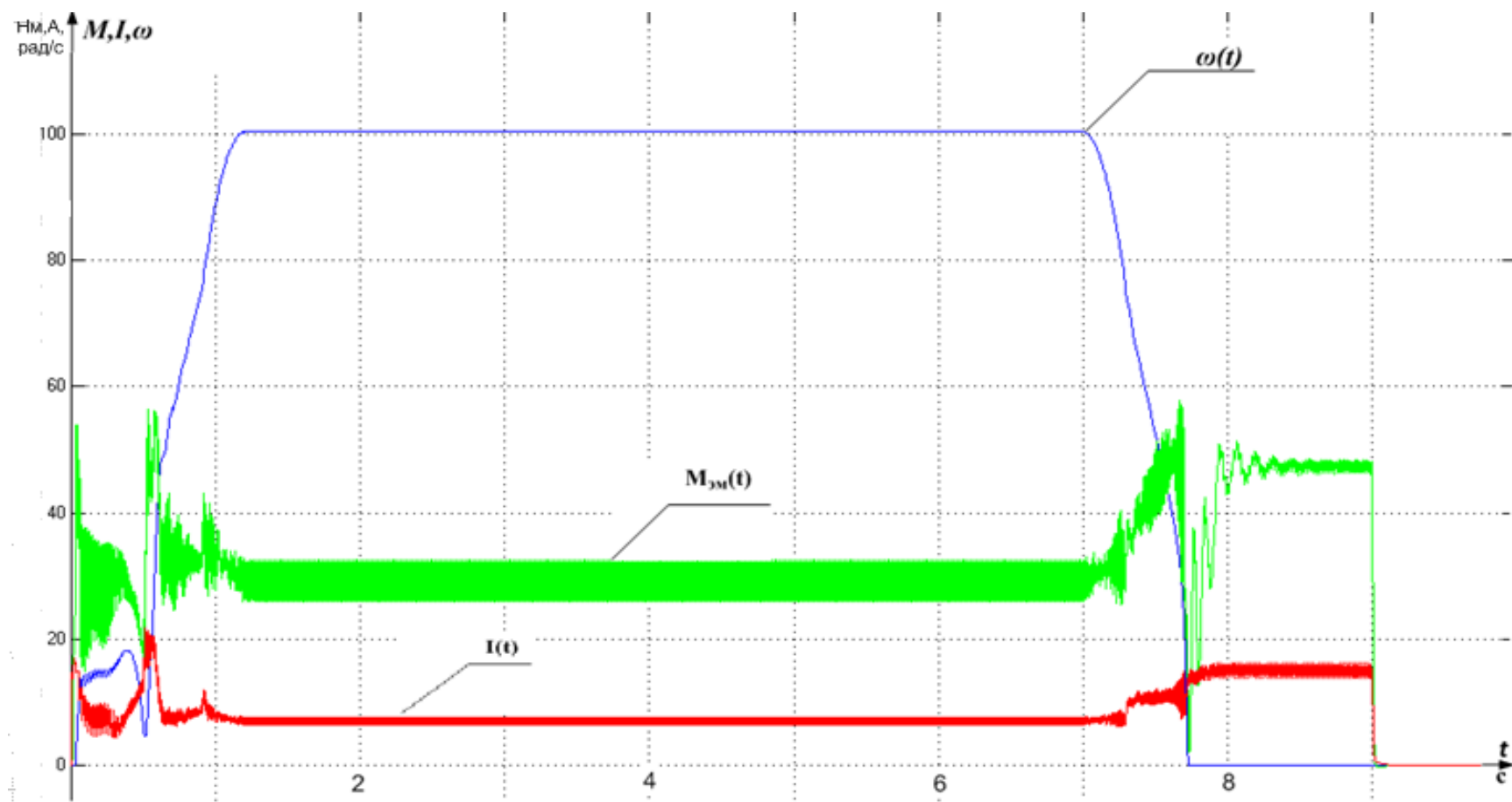


Рисунок 3.10 – Диаграммы работы электропривода сетки при частоте 50 Гц в рабочем режиме и внезапной перегрузке по моменту

По результатам исследования были получены характеристики:

Из приведенных характеристик делаем вывод:

1. Значительные пульсациями тока, момента и скорости, что не позволяет говорить о плавных характеристиках процесса.
2. На установившейся скорости в диапазоне не менее 2:1 работу электропривода можно считать удовлетворительной, с незначительными пульсациями тока и момента.

Вывод к разделу 3

Приведенные простейшие электроприводы со скалярным управлением во многих случаях полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к электроприводу производственного механизма. Они широко применяются для решения задач регулирования скорости механизмов во вновь проектируемом технологическом оборудовании, а также в качестве замены нерегулируемого электропривода переменного тока и регулируемого электропривода постоянного тока с обратными связями по напряжению и ЭДС двигателя. Сильные пульсации в момент пуска и момент торможения предотвратить практически не возможно даже благодаря скалярному управлению. По этому для насоса оставляем скалярное управление, а для сетки разработаем векторным частотным – регулированием.

4 Разработка и исследование электропривода вращения сеток с частотным векторным управлением

4.1 Разработка имитационной модели регулируемого электропривода с векторным управлением

Система векторного частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули так и положения в пространстве. Основой для реализации систем управления частотного – регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокоцепления ротора Ψ_2^* .

Модели регулируемого асинхронного электропривода с частотным векторным управлением реализуются на основе базовой функциональной схемы:

- с моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ (рисунок 4.1)
- схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода при векторном управлении с точной моделью двухфазного асинхронного двигателя без датчика потока и скорости (рисунок 4.2).

Общим для модели является 4-х контурная система автоматического управления (САУ) регулируемого асинхронного электропривода (РЭП). Управляющими сигналами на входе РЭП постоянное значение потокоцепления ротора Ψ_2^* и заданное значение скорости вращения двигателя ω^* . В частном случае возможно отсутствие контура и регулятора потокоцепления ротора. В этом случае задается значение тока I_d , которое затем удерживается постоянным в процессе работы привода. Развитие моделей осуществляется путем исключения датчиков потока и скорости

вращения двигателя и реализации позиционных и следящих систем электропривода.

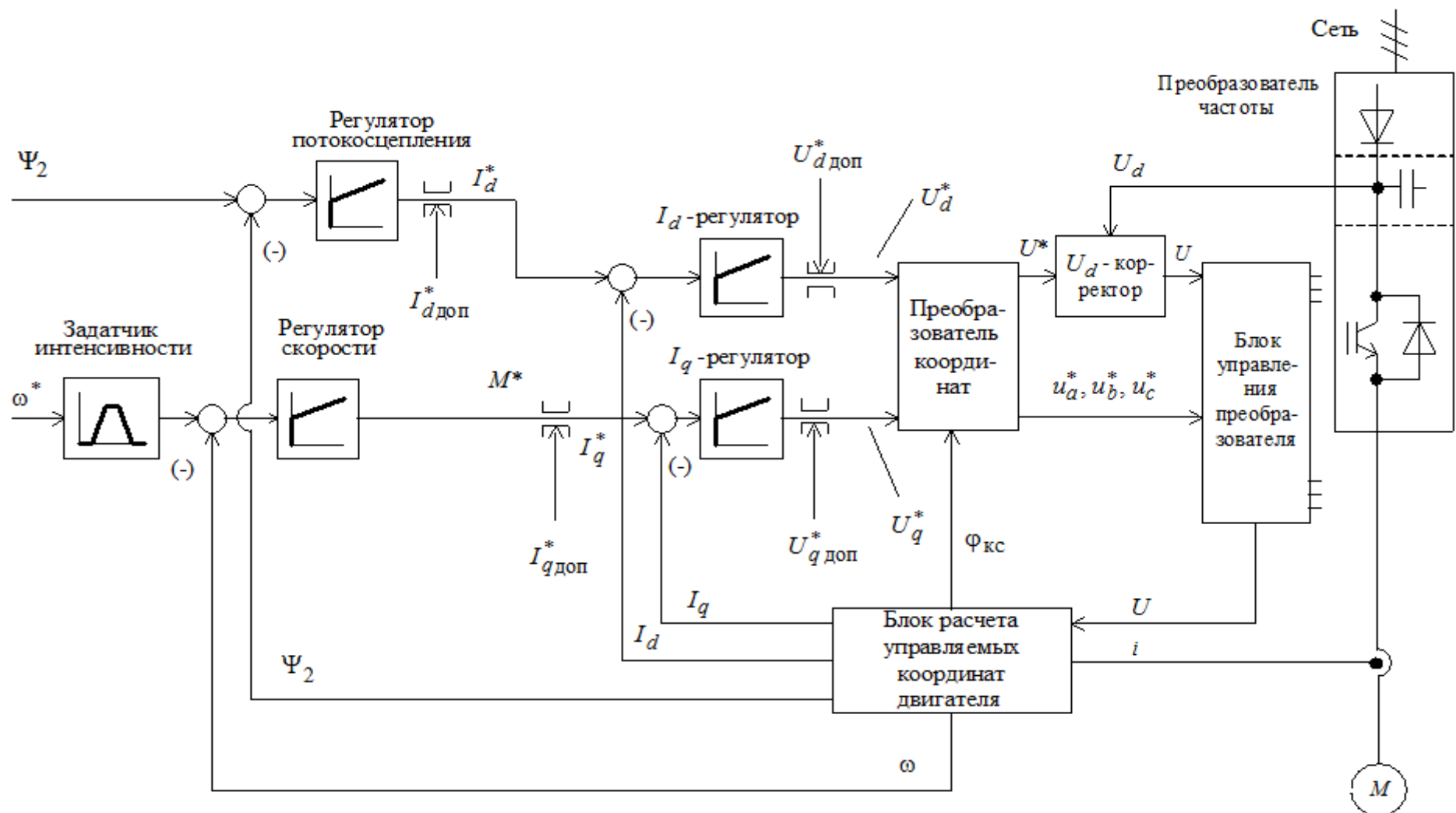


Рисунок 4.1 – Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным векторным управлением и моделью трехфазного инвертора напряжения с ШИМ без датчиков потока и скорости

В моделях асинхронного электропривода с **частотным векторным управлением** используются модели двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, структурная схема которого представлена на рисунке 4.5 (полная схема) и рисунке 4.6 (упрощенная схема).

Система управления электроприводом с частотным векторным управлением реализована как четырехконтурная система регулирования с регуляторами токов по осям d , q , потокосцепления ротора и скорости вращения двигателя. Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением без датчика потока и скорости приведена на рисунке 4.3.

Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода без датчика потока и скорости приведена на рисунке 4.4.

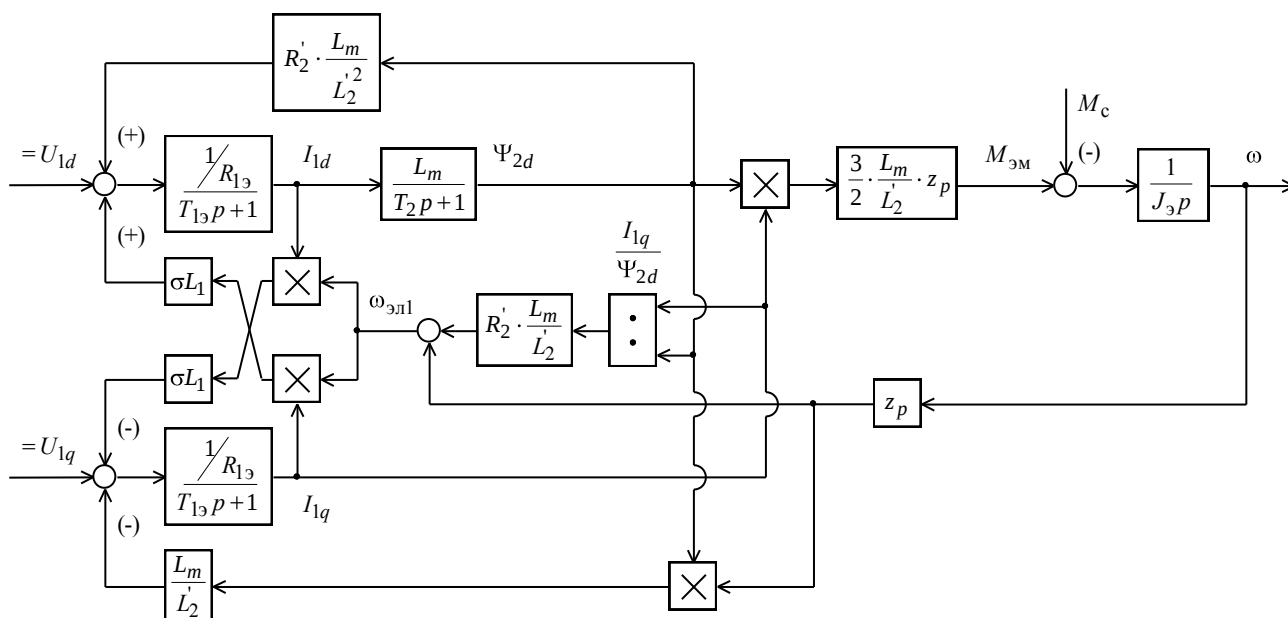


Рисунок. 4.2 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

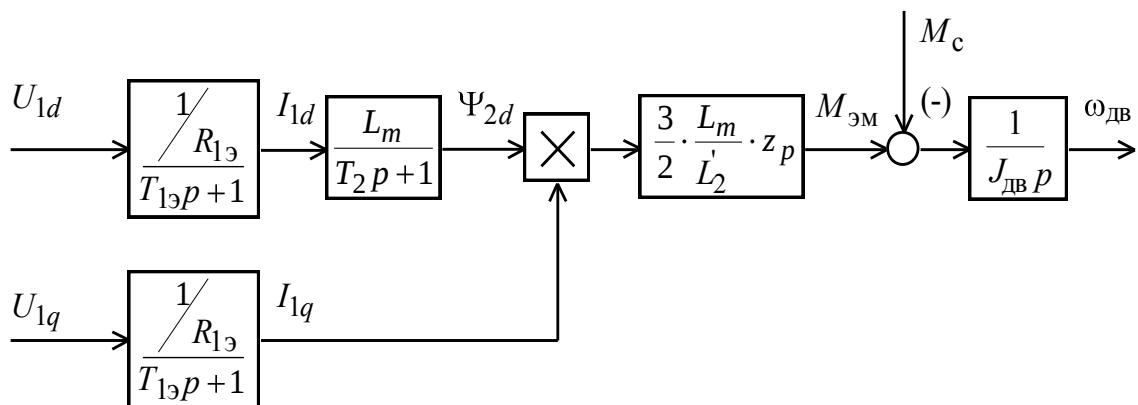


Рисунок 4.3 – Структурная схема двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора, с компенсированными внутренними обратными связям

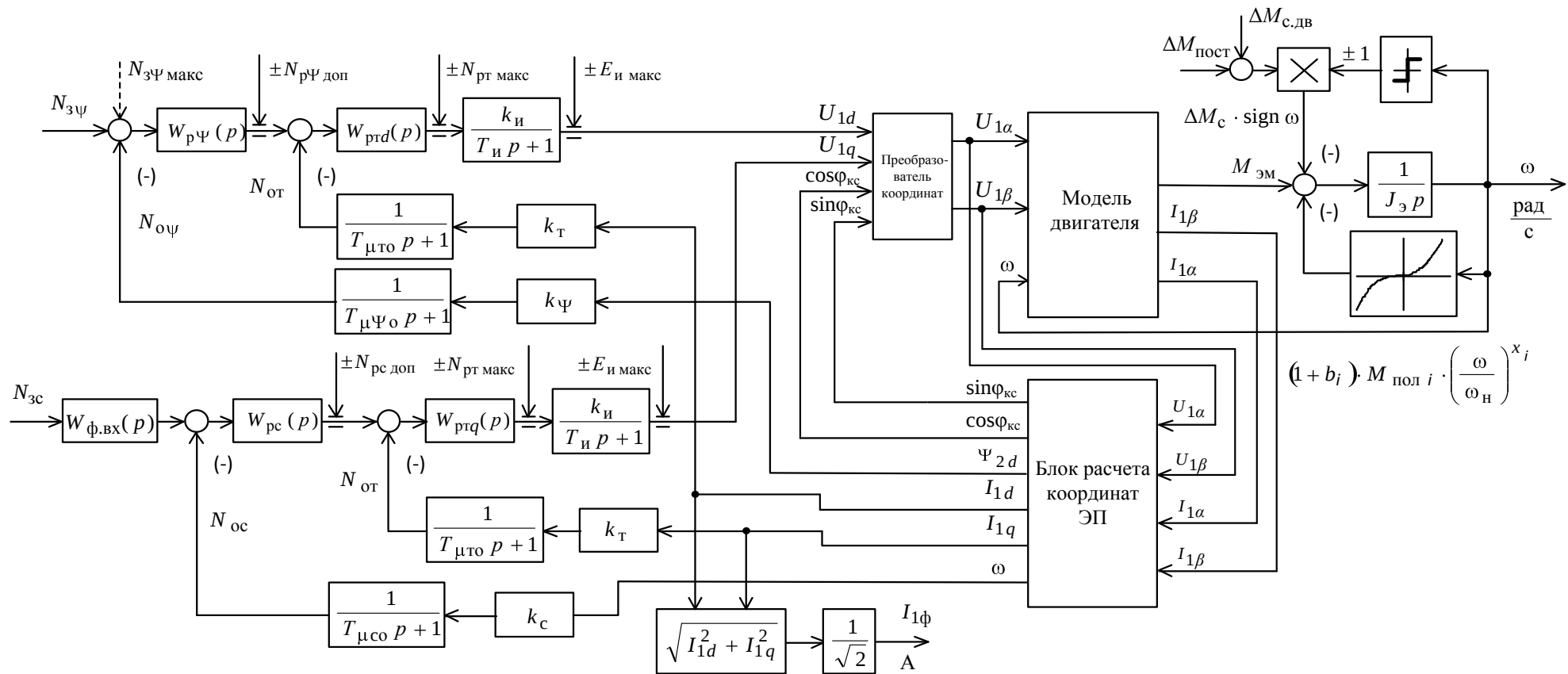


Рисунок 4.4 – Структурная схема нелинейной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением без датчика потока и скорости

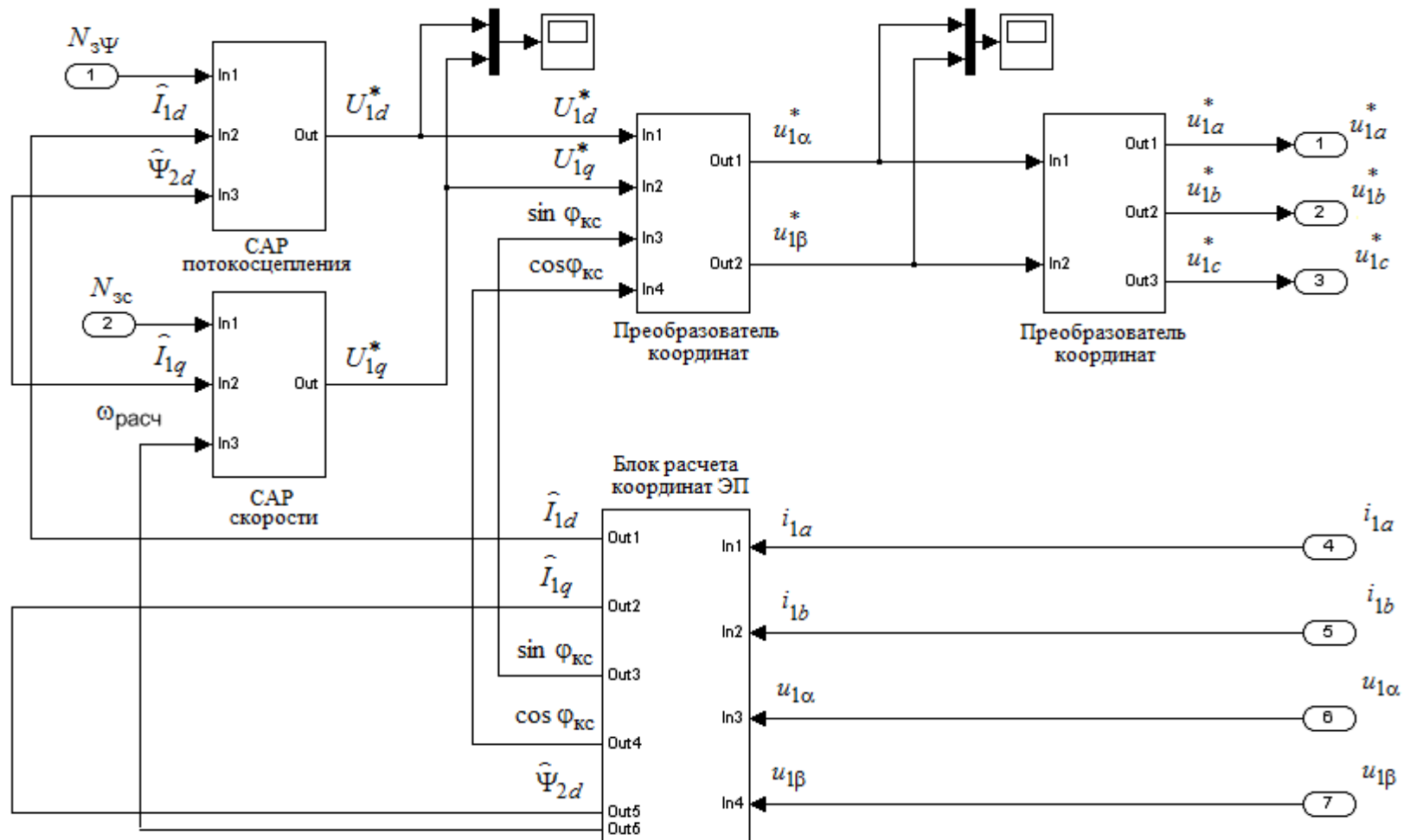


Рисунок 4.5 – Имитационная модель блока расчета управлений и преобразования координат системы векторного управления регулируемого асинхронного электропривода

4.1.1 Структурные схемы блоков преобразования координат двигателя

Поскольку управления трехфазным асинхронным двигателем формируется в двухфазной системе координат, в моделях электропривода используются блоки прямого и обратного преобразования координат двигателя. Схемы моделей блоков преобразователей координат приведены на рисунке 4.6. Для преобразования не указанных на приведенных схемах координат двигателя блоки идентичные.

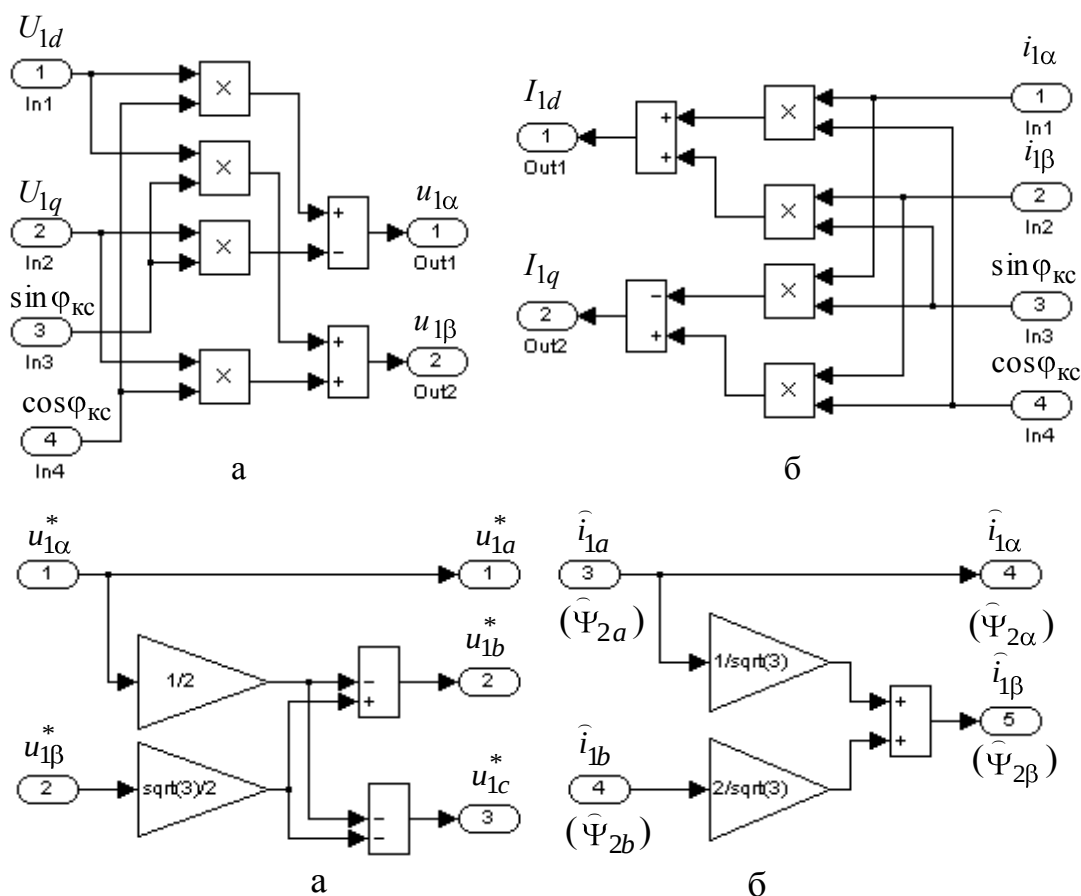


Рисунок 4.6 – Имитационные модели преобразователей координат:

а – из вращающейся системы координат d, q в неподвижную систему α, β , б – из неподвижной системы координат α, β во вращающуюся d, q.

4.1.2 Схемы расчета потокоцепления в электроприводе без датчиков потока

В электроприводе без датчиков потоки могут быть рассчитаны в соответствии со схемами, приведенными на рисунках 4.7 и 4.8

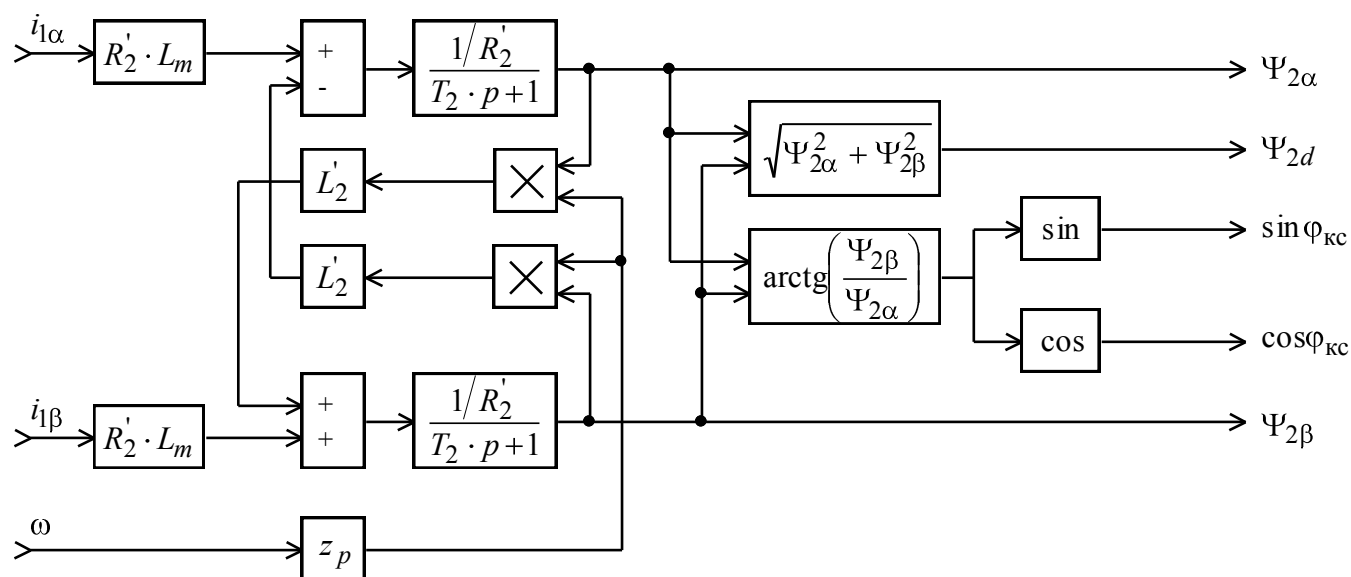


Рисунок. 4.7. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений измеренных токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ и скорости ω двигателя

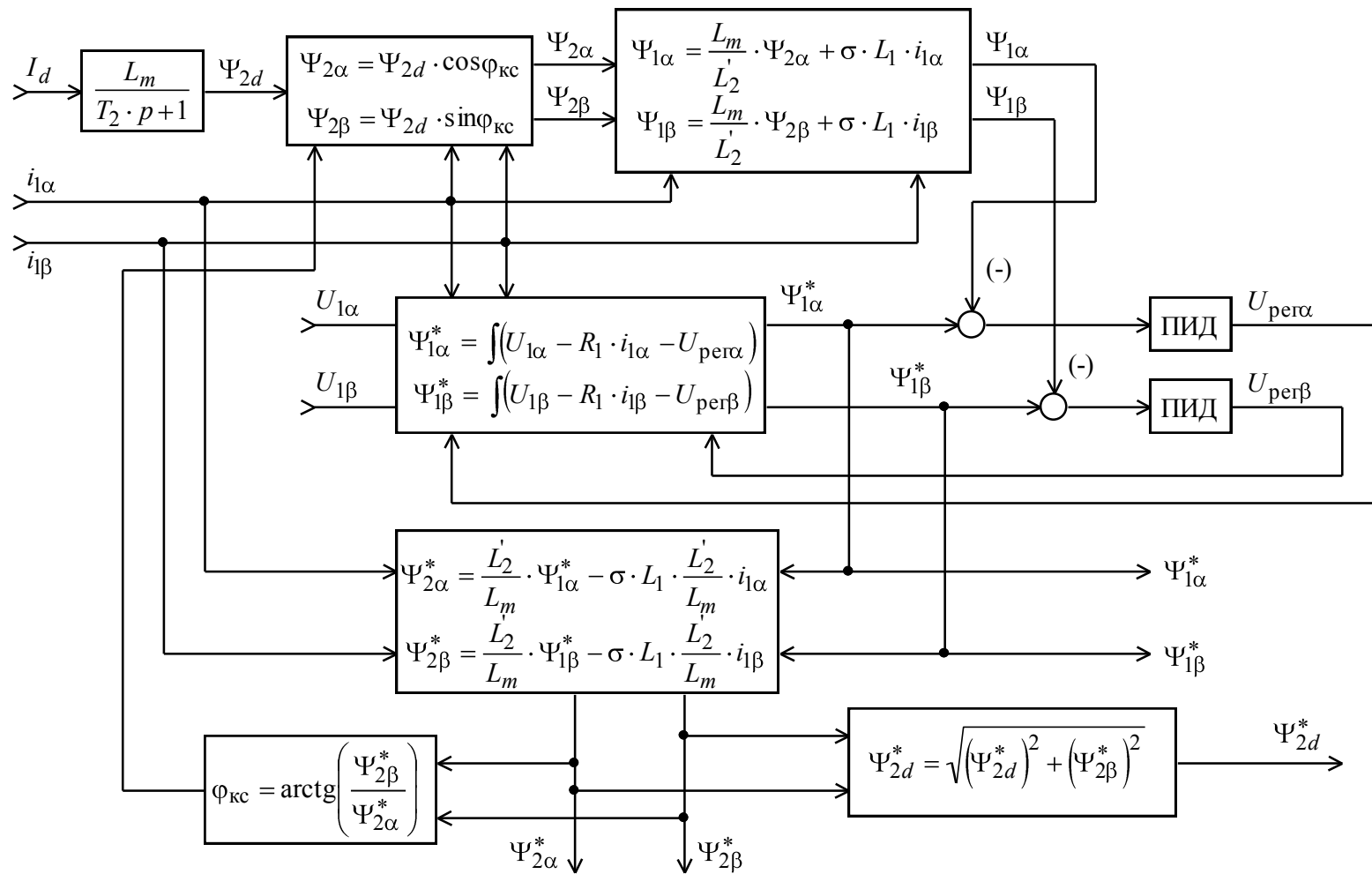


Рисунок. 4.8. Схема расчета угла поворота вращающейся координатной системы с использованием значений токов $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$, I_d и напряжений $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$

4.1.3 Схемы расчета скорости вращения двигателя в электроприводе без датчика скорости

В электроприводе без датчика скорости, но с датчиками потока, скорость вращения двигателя может быть рассчитана в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 4.9.

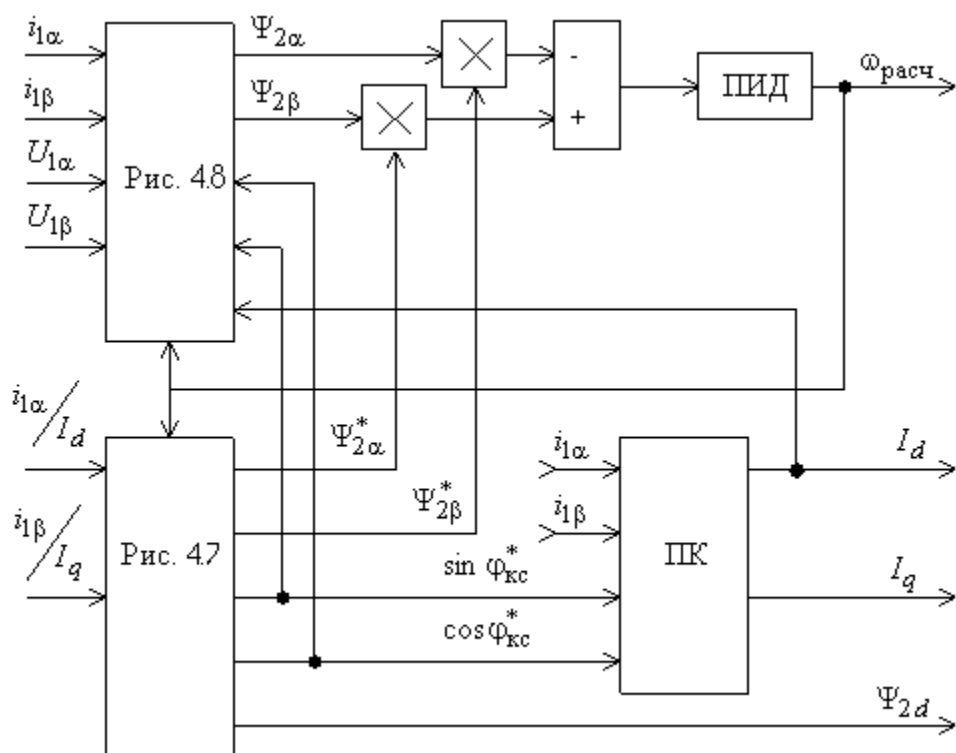


Рисунок 4.9. Схема расчета скорости двигателя в бездатчиковом электроприводе

4.2 Исследование частотно-регулируемого асинхронного электропривода вращающихся сеток с векторным управлением

4.2.1 Расчет параметров моделей асинхронного электропривода сетки с частотным векторным управлением

Расчет параметров элементов силового канала

Эквивалентные индуктивности:

- обмоток статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0.158323 \text{ Гн.}$$

- обмоток ротора

$$L'_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0.16075 \text{ Гн.}$$

Коэффициент рассеяния магнитного потока:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L'_2} = 0.1041.$$

Эквивалентное сопротивление цепи статора:

$$R_{1\sigma} = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_1'^2} = 3.01144 \text{ Ом.}$$

Эквивалентные постоянные времени статор и

$$T_{1\sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{1\sigma}} = 5.473 \cdot 10^{-3} \text{ с,}$$

и ротора

$$T_2 = \frac{L'_2}{R'_2} = 0.116317 \text{ с.}$$

Период ШИМ составляет:

$$T_{\text{ШИМ}} = \frac{1}{f_{\text{ШИМ}}} = \frac{1}{5000} \text{ с.}$$

Напряжение звена постоянного тока преобразователя:

$$U_{d0} = \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{1\phi_n}}{\gamma_{\text{макс}}} = 567.25 \text{ В,}$$

где $\gamma_{\text{макс}} = 0.95$

- коэффициент относительной продолжительности включения ключей инвертора.

Линейное напряжение источника питания преобразователя:

$$U_c = \frac{U_{d0}}{1.35} = 420.185 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя частоты:

$$k_u = \frac{U_{d0}}{\sqrt{3}} = 327.5.$$

$$I_0 = 4.411 \text{ A.}$$

Значение номинального потокосцепления двигателя:

$$\Psi_{2н} = 0.942 \text{ Вб.}$$

Значение номинального тока I1:

$$I_{1дн} = \sqrt{2} \cdot I_0 = 6.238 \text{ A.}$$

Модуль вектора тока статора:

$$\text{mod } \bar{I}_{1\text{макс}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{эп.макс}} = \text{A};$$

Значение максимального тока I1:

$$I_{1q\text{макс}} = \sqrt{(\text{mod } \bar{I}_{1\text{макс}})^2 - I_{1дн}^2} = 93.895 \text{ A};$$

Значение максимального момента:

$$M_{\text{эм.макс}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2'} \cdot z_p \cdot \Psi_{2н} \cdot I_{1q\text{макс}} = 358.813 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Эквивалентный момент нагрузки, приведенный к валу двигателя:

$$M_{\text{эп.макс}} = M_{\text{эм.макс}} - \Delta M_{с\text{дв}} = 356.606 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Расчет параметров настройки контура потокосцепления с ПИ-регулятором без датчика потока

Принимаем значение потокосцепления $\Psi_{2изм.\text{макс}} = 1 \text{ Вб}$ из условия

$$\Psi_{2изм.\text{макс}} \geq \sigma_\Psi \cdot \Psi_{2н} = 1.05 \cdot 0.942 = 1 \text{ Вб, при } \sigma_\Psi = 1.05.$$

Принимаем $N_{\Psi\text{макс}} = 1.$

Коэффициент обратной связи по потоку

$$k_\Psi = k_{ос.\Psi} = \frac{1}{\Psi_{2изм.\text{макс}}} = 1 \text{ 1/Вб.}$$

Коэффициент согласования сигналов обратной связи и задания на входе контур потокосцепления

$$N_{з\Psi\text{макс}} = k_\Psi \cdot \Psi_{2н} = \frac{\Psi_{2н}}{\Psi_{2изм.\text{макс}}} = 0.942.$$

Принимаем $T_{расч.\Psi} = T_{шум} = \frac{1}{f_{шум}} = \frac{1}{5000} \text{ с.}$

Интервалы квантования сигналов в цепи ОС контура потока:

Принимаем $T_{ос.\Psi} = T_{нк.\Psi} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$ (что соответствует 500 Гц)

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения потока: $T_{ф.о\Psi} = 0.$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном: $n_{\Psi} = 1.$

$$T_{\mu\Psi} = T_{\tau} + \frac{T_{ос.\Psi}}{n_{\Psi}} + T_{ф.о\Psi} = 6 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} = 2.6 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Принимаем $a_{\Psi} = 2 \text{ с.}$

Постоянная времени регулятора потока:

$$T_{р\Psi} = T_2 = 0.4667 \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора:

$$k_{р\Psi} = \frac{T_2 \cdot k_{\tau}}{L_m \cdot k_{\Psi} \cdot a_{\Psi} \cdot T_{\mu\Psi}} = \frac{0.116317 \cdot 1}{0.151 \cdot 1 \cdot 30 \cdot 2 \cdot 2.6 \cdot 10^{-3}} = 4.938.$$

Допустимое значение выходного сигнала регулятора потока:

$$N_{р\Psi \text{ доп}} = N_{зт. макс} = 0.7071.$$

При настройке модели САР электропривода приняты расчетные параметры настройки контура и ПИ-регулятора потокосцепления.

Расчет параметров настройки скорости с ПИ-регулятором без датчика скорости

Принимаем значение максимальной скорости $\omega_{изм. макс} = 150 \text{ рад/с}$
из условия

Принимаем $N_{ос. макс} = 1.$

Коэффициент обратной связи по скорости:

$$k_c = k_{oc.c} = \frac{1}{\omega_{изм.макс}} = \frac{1}{150} \text{ с/рад.}$$

Значение максимального задания на входе контура скорости:

$$N_{зс.макс} = k_c \cdot \omega_{эп.макс} = \frac{\omega_{эп.макс}}{\omega_{изм.макс}} = \frac{103.044}{150} = 0.68696 .$$

$$\text{Принимаем } T_{расч.с} = T_{шим} = \frac{1}{f_{шим}} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Принимаем интервал квантования сигналов в цепи ОС контура скорости: $T_{ос.с} = T_{пк.с} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$ (что соответствует 500 Гц).

Принимаем постоянную времени аналогового фильтра в цепи измерения скорости: $T_{ф.ос} = 0.$

Принимаем коэффициент аппроксимации звена чистого запаздывания апериодическим звеном: $n_c = 1.$

Эквивалентная малая постоянная времени оптимизированного контура скорости:

$$T_{мсэ} = T_T + \frac{T_{ос.с}}{n_c} + T_{ф.ос} = 6 \cdot 10^{-4} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

$$\text{Принимаем } b_c = a_c = 2 .$$

Постоянная времени регулятора скорости:

$$T_{рс} = b_c \cdot a_c \cdot T_{мсэ} = 6.4 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Коэффициент усиления регулятора скорости:

$$k_{рс} = \frac{J_{э} \cdot k_T}{\Psi_{2н} \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L'_2} \cdot z_p \cdot k_c \cdot a_c \cdot T_{мсэ}} =$$

$$= \frac{0.042 \cdot 1 \cdot 0.160748 \cdot 150}{0.95 \cdot 3 \cdot 0.151 \cdot 3 \cdot 1.6 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 1} = 16.342 .$$

$$N_{\text{рс. доп}} = \sqrt{N_{\text{зт. макс}}^2 - N_{\text{р}\Psi}^2} = \sqrt{(0.8005)^2 - N_{\text{р}\Psi}^2} \quad .$$

Принимаем $T_{\text{ф.вх}} = 10.4 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$

При настройке модели САР электропривода приняты следующие параметры ПИ-регулятора скорости:

$$T_{\text{рс}} = 6.4 \cdot 10^{-3} \text{ с}; \quad k_{\text{рс}} = 16.342.$$

Схемы набора имитационных моделей частотно-регулируемого асинхронного электропривода сетки с векторным управлением приведены в приложении.

4.2.2 Программа исследований электропривода

Работа электропривода сетки исследуется в режиме:

– плавный пуск сетки на 10 Гц – переход на 50 Гц – переход на 30 Гц – переход на 50 Гц – переход на 10 Гц – торможение и останов.

На рисунке 4.10 приведены диаграммы отработки электроприводом сетки с частотным векторным управлением имитационного цикла работы.

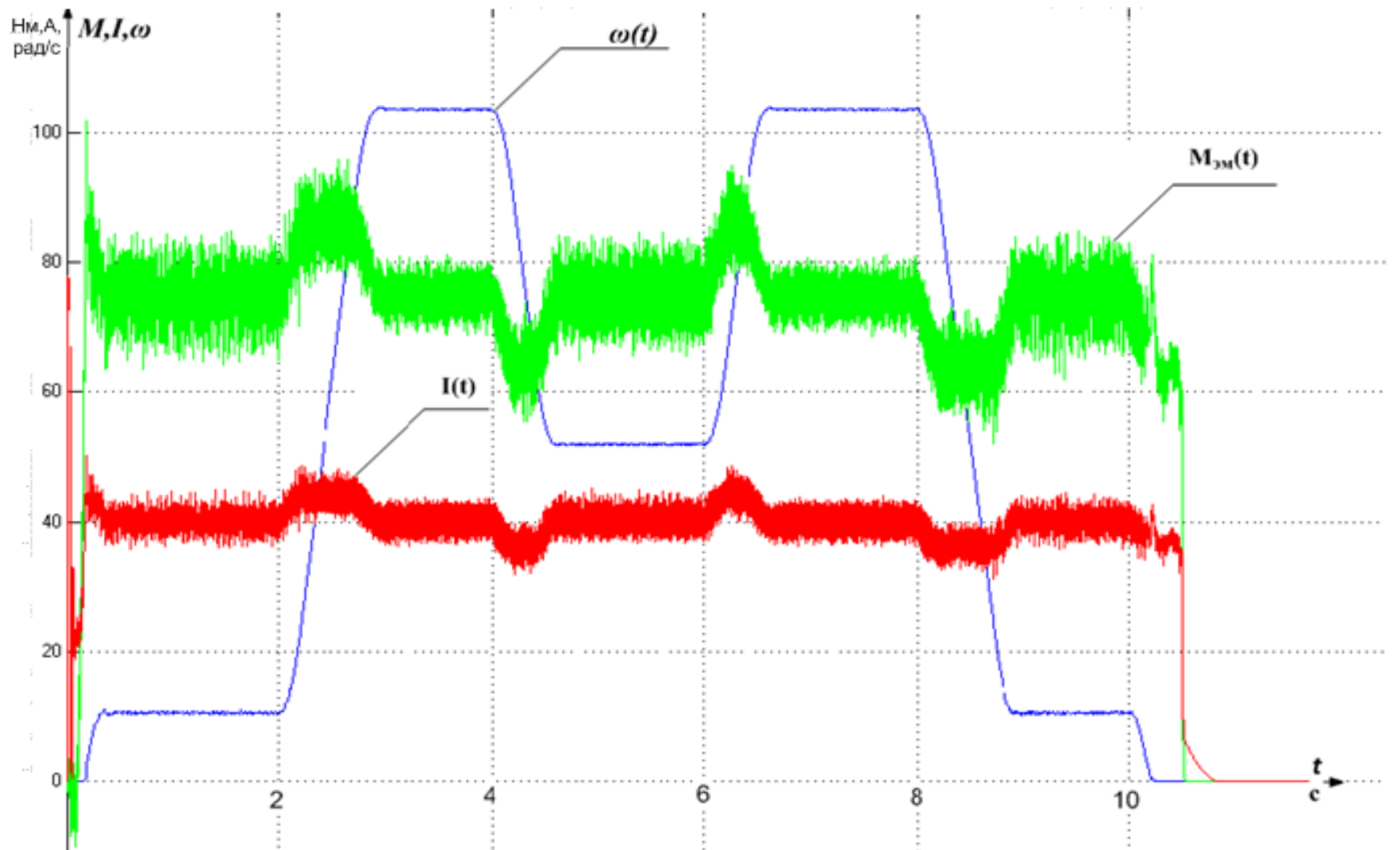


Рисунок 4.10 – Диаграммы отработки электроприводом сетки с частотным векторным управлением имитационного цикла

Вывод

По результатам имитационных исследований работы частотно-регулируемого асинхронного электропривода сетки с векторным управлением видно, что при пуске и торможении моменты и токи имеют значительно меньшие пульсации, чем при скалярном управлении. Это и значительно больший диапазон регулирования скорости, являются преимуществом векторного управления.

Список используемых источников

1. Мальцева О.П., Удут Л.С., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2007. – 151 с.
2. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование электроприводов. Часть 4. – тиристорные преобразователи для электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 152 с.
3. Удут Л. С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 5. –Применение программы DORRA-FUZZY в расчётах электроприводов постоянного тока: Учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2002. – 156 с.
4. http://knowledge.allbest.ru/manufacture/2c0a65625a2bc78a5c43b88521306d37_0.html
5. <http://www.eon-russia.ru/about/structure/affiliate/berezovskaya/contacts/>
http://otherreferats.allbest.ru/physics/00103374_0.
6. Черных И.В. Моделирование электрических устройств в *MATLAB*, *SimPowerSystems* и *Simulink* – СПб. ; М. : Питер : ДМК Пресс, 2008. — 288 с
7. Дьяконов В. П. *MATLAB 7/7.1+ Simulink 4/5* : Основы применения : Полное руководство пользователя. – М. : СОЛОН-Пресс, 2002. – 768 с
8. IEC – Motoren [Электронный ресурс] – режим доступа http://www.plm.automation.siemens.com/ru_ru/?stc=rucce020013
9. IEC–Motoren [Электронный ресурс]
<http://www.siemens.com/automation/mall>
10. <http://digitalson.ru/products/150/6188/code-6SL3210-1KE18-8UP0>
11. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – М.: Издательский центр "Академия", 2005. – 304 с
12. Электродвигатели асинхронные. Справочник / В.Л. Лихачев. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 304 с.

13. Капунцов Ю.Д., Елисеев В.А., Ильяшенко Л.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок: Учебник для вузов/ Под ред. проф. М.М. Соколова. – М.: Высш. школа, 1979- 359 с., ил.
14. Анучин А.С., Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015 – 373 с.: ил.