

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый электропривод вращающейся печи

УДК 62-83-52:621.745.32

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5ГЗА2	Холбоев Бобур-Мирзо Маъруфжон угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Ю.Н.	Ph.D, доцент		

Томск – 2018 г.

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

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электропривод и автоматика

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. отделением

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

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Холбоев Бобур-Мирзо Маъруфжон угли

Тема работы:

Регулируемый электропривод вращающейся печи	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 856/с от 08.02.2018г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническая литература, техническая документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Введение; описание технологического процесса; обоснование и выбор системы электропривода; анализ технических требований. выбор электродвигателя. Выбор преобразователя частоты. исследование имитационной модели асинхронного электропривода вращающейся печи социальная ответственность проекта; финансовый менеджмент; заключение.
Перечень графического материала	- схема кинематическая;

	-схема электрическая функциональная; - схема электрическая структурная; - графики переходных процессов пуска, - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Попова Светлана Николаевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.04.2018г
---	-------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ланграф С.В	к.т.н.		05.04.2018г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Холбоев Бобур-Мирзо Маъруфжон угли		05.04.2018г.

Техническое задание

Для вращающейся печи для обжига молибденового концентрата спроектировать регулируемый электропривод переменного тока. При разработке проекта следует ориентироваться на использование преобразователя частоты и системы векторного управления асинхронным двигателем с однозонным регулированием. Привод вращающейся печи должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Работа в четырёх квадрантах при изменении нагрузки от $0,05M_n$ до M_n , где $M_n=14,212$ Нм;
2. Максимальная скорость вращения печи $n_{п.макс} = 3,5$ об/мин;
3. Диапазон регулирования скорости вращения $D=1:3,5$;
4. Электропривод должен иметь следующие виды защит:
 - от короткого замыкания;
 - от токов перегрузки;
 - от перенапряжений;
 - от исчезновения напряжения сети полного, так и частичного;
 - от потери информации датчика скорости;
5. Сигнал управления, соответствующий максимальной скорости, аналоговый и соответствует ± 10 В;
6. Погрешность регулирования скорости при изменении нагрузки от $0,05M_n$ до M_n не более 5%;
7. Электропривод должен обеспечивать стабилизацию скорости и управление моментом;
8. Параметры питающей сети:
 - частота $f_c=50$ Гц;
 - напряжение $U = 380^{+10}_{-15}$ В.

Реферат

Цель работы: произвести расчет и выбор электрооборудования для электропривода вращающейся печи, предназначенный для обжига молибденового концентрата.

Для управления электроприводом принята векторная система управления асинхронным двигателем.

Проведены исследования в области статики и динамики системы с помощью численного моделирования на ЭВМ.

ВКР выполнена в текстовом документе Microsoft Word 7.0

Содержание

Введение	8
1. Общие вопросы проектирования	9
1.1 Технологический процесс	9
1.2 Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата	10
1.3 Выбор двигателя	11
1.4 Расчёт параметров двигателя	12
1.5 Расчет и построение естественной механической и электромеханических характеристик электродвигателя	16
2. Разработка электропривода вращающейся печи	19
2.1 Функциональная схема электропривода	19
2.2 Выбор преобразователя частоты	22
3. Расчёт параметров оптимальной настройки системы	24
3.1 Структурная схема векторного управления системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель	24
3.1.1 Модель асинхронного двигателя	26
3.1.3 Обратный преобразователь координат	28
3.1.4 Идеализированный преобразователь частоты	29
3.1.5 Блок развязки	30
3.2 Система относительных единиц	30
3.3 Контур тока i_{sx}	33
3.4 Контур тока i_{sy}	34
3.5 Контур потокосцепления	35
3.6 Контур скорости	36
3.7 Ожидаемые параметры функционирования электропривода	37
3.7.1 Контур токи	37
3.7.3 Контур скорости	38
4. Имитационное моделирование	39
4.1 Логарифмические амплитудно – частотные характеристики	40
4.1.1 Контур тока i_{sx}	40
4.1.2 Контур тока i_{sy}	41
4.1.3 Контур потокосцепления	42
4.1.4 Контур скорости	43
4.2 Переходные процессы	44
4.2.1 Переходный процесс контура тока i_{sx}	44
4.2.2 Переходный процесс контура тока i_{sy}	45
4.2.3 Переходный процесс контура потокосцепления	46
4.2.4 Переходный процесс контура скорости	47
4.3 Исследование нелинейной системы	48
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	54
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	55
5.1 Планирование пуско-наладочных работ	55
5.2 Стоимость ПНР	58

5.3 Расчет экономии электроэнергии	61
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»	63
6 Безопасность и экологичность проекта	64
6.1 Анализ вредных и опасных факторов при монтаже и наладке, а также при эксплуатации вращающейся печи	64
6.2 Техника безопасности	65
6.3 Расчет защитного заземления	66
6.4 Производственная санитария	69
6.5 Охрана окружающей среды	74
6.6 Пожарная безопасность	76
6.7 Требования к рабочему месту	78
Список использованной литературы	81
Приложение А.	82

Введение

Промышленное производство молибдена началось в 1909...1910 гг., когда были обнаружены особые свойства оружейных и броневых сталей, легированных этим металлом, а также разработана технология получения компактных тугоплавких металлов методом порошковой металлургии.

Молибден имеет широкое применение. Молибден существенно улучшает свойства сталей. Для повышения твёрдости молибден вводят в сплавы кобальта и хрома, которые применяют для наплавки кромок деталей из обычной стали, работающих на износ. Молибден входит в состав ряда жаростойких и кислотоупорных сплавов на основе никеля, кобальта и хрома. В чистом виде молибден применяется в виде ленты или проволоки, в качестве нагревательных элементов электропечей, работающих в атмосфере водорода при температурах до 1600 °С. Молибденовая жёсть и проволока широко используется в радиоэлектронной промышленности и рентгентехнике для изготовления различных деталей электронных ламп, рентгеновских трубок и других вакуумных приборов.

1. Общие вопросы проектирования

1.1 Технологический процесс

На участке 100 в Алмалыке выполняется этап обжига сырья (молибденового концентрата), во время которого происходит выделение газа SO_2 , а все сульфиды окисляются до оксидов. В соответствии с требованиями процесса необходимо выдерживать сырьё в течении двух часов в окисляющей среде при температуре 600-620°C. При более низкой температуре процесс слишком замедляется, при температуре, превышающей 720°C, оксид молибдена активно возгорается. Во время обжига сырьё возгорается и горит само по себе. Схема технологического процесса представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схема технологического процесса

Процесс подготовки сырья к грануляции начинается с системы пневматической транспортировки концентрата и заканчивается смесителем X-106.

На этапе грануляции из тонкого и влажного порошка производят гранулы крупностью 1,2 мм. Участок начинается с питающего конвейера G-124 и заканчивается системой загрузки печи XV-10122/5.

На третьем этапе происходит, непосредственно, обжиг концентрата во вращающейся печи и сбор продукции в партии по 2080 кг.

1.2 Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата

Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата представлена на рисунке 2.

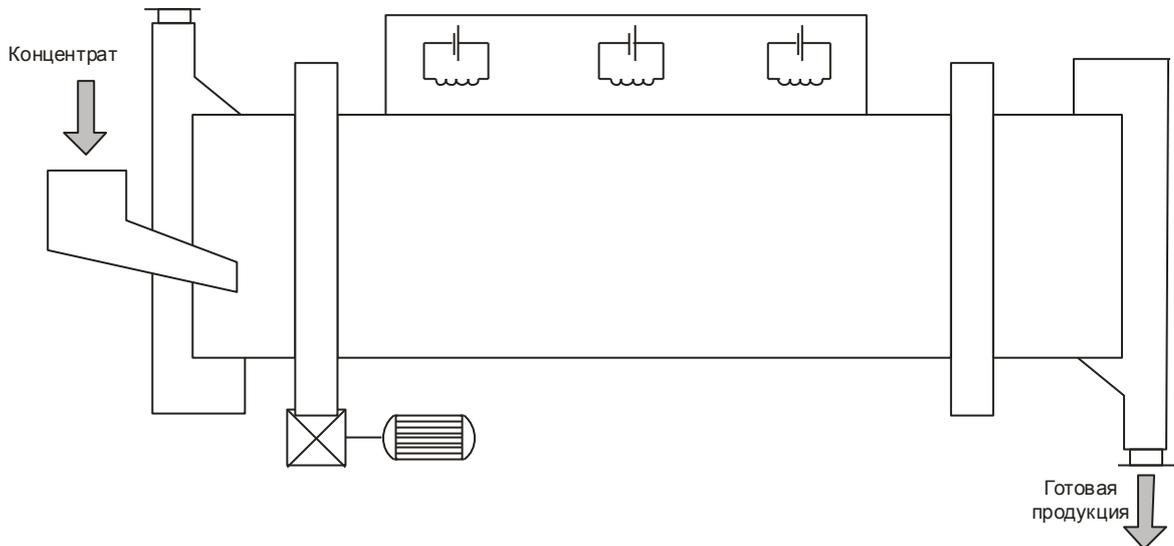


Рисунок 2 - Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата

Электропривод предназначен для вращения индукционной обжиговой печи со стабилизированной регулируемой скоростью 1~3,5 об/мин.

Масса печи $m_{п}=5000$ кг.

Масса загружаемого сырья $m_{с}=3000$ кг.

Редуктор имеет передаточное число $i=750$.

Кинематическая схема электропривода изображена на рисунке 3.

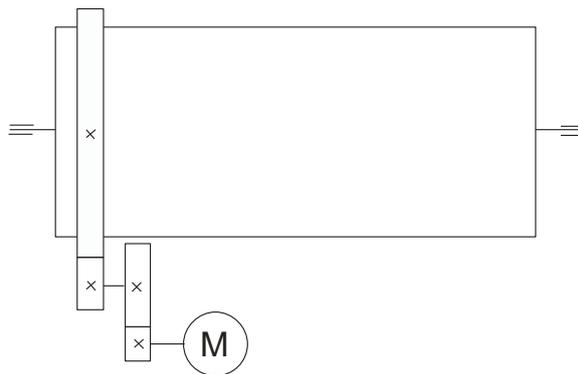


Рисунок 3 - Кинематическая схема электропривода

1.3 Выбор двигателя

Мощность, кВт, электродвигателя определяется по формуле [1]

$$P = \frac{aLD^3 \omega_{n.макс} \rho \phi k_1 k_2 k_3}{820\eta} = \frac{2,9 \cdot 11,930 \cdot 1^3 \cdot 0,367 \cdot 1600 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{820 \cdot 0,95} = 5,209 \text{ кВт},$$

где a - коэффициент, зависящий от диаметра барабана;

L - длина барабана, м;

D - диаметр барабана, м;

$\omega_{п.макс}$ - максимальная угловая скорость печи, рад/с;

ρ - плотность материала, кг/м³;

ϕ - коэффициент заполнения муфеля;

η - КПД редуктора;

k_1, k_2, k_3 - коэффициенты.

Максимальная требуемая скорость вращения электродвигателя

$$n_{тр.дв.макс.} = n_{п.макс} \cdot i = 3,5 \cdot 750 = 2625 \text{ об/мин.}$$

Минимальная требуемая скорость вращения электродвигателя

$$n_{тр.дв.мин.} = n_{п.мин} \cdot i = 1 \cdot 750 = 750 \text{ об/мин.}$$

где i - передаточное число редуктора.

Требуемый момент при максимальной скорости вращения печи

$$M_{тр}^{(макс)} = \frac{P_{тр}}{\omega_{п.макс}} = \frac{5,209}{0,367} = 14,212 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Предварительно выбираем двигатель мощностью $P_{дв.} = 5.5$ кВт и частотой вращения $n_{дв.0} = 3000$ об/мин.

$$\omega_{дв.0} = \frac{2\pi n_{дв.0}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314.159 \text{ рад/с}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.}}{\omega_{дв.0}} = \frac{5,5 \cdot 10^3}{314.159} = 17.507 \text{ н} \cdot \text{м}.$$

Для работы двигателя на минимальной скорости потребуется снижение частоты напряжения статора до уровня

$$f_{\text{мин}} = \frac{n_{\text{тр.дв.мин}} \cdot f_{\text{ном}}}{n_{\text{дв.0}}} = \frac{750 \cdot 50}{3000} = 12,5 \text{ Гц}.$$

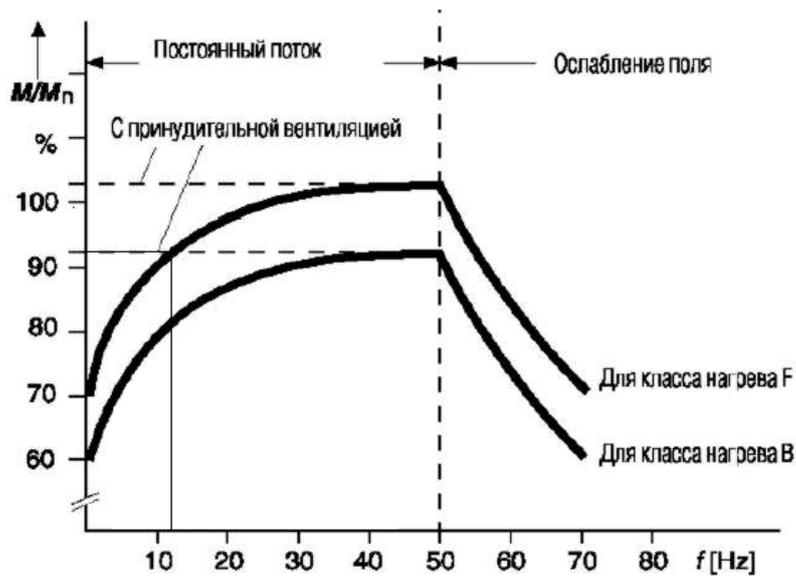


Рисунок 4 – Нагрузочная характеристика АД при частотном регулировании

При частоте $f_{\text{мин}}=12,5$ Гц в соответствии с рис. 4 момент двигателя

$$M_{\text{дв}}^{(\text{мин})} = 0,92 \cdot M_{\text{дв.н}} = 0,92 \cdot 17,507 = 16,106 \text{ н} \cdot \text{м}.$$

$M_{\text{дв}}^{(\text{мин})} > M_{\text{тр}}$, следовательно двигатель обеспечивает момент на минимальной скорости вращения.

1.4 Расчёт параметров двигателя

Исходя из проведенного ранее расчёта выбираем конкретный тип двигателя: RA132SA; напряжение $U_{\text{н}}=220$ В; масса $m=43$ кг; $n_{\text{н}}=2880$ об/мин;

$$\eta=85\%; \cos\varphi=0,89; I_{1\text{н}}=11 \text{ А}; \frac{I_{1\text{II}}}{I_{1\text{н}}} = 6,5; \frac{M_{\text{II}}}{M_{\text{н}}} = 2,4; \frac{M_{\text{М}}}{M_{\text{н}}} = 3,0; J=0,0155 \text{ нм}.$$

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя воспользуемся его математической моделью, которая в общем случае представляется различными схемами замещения. Наиболее простой и удобной для инженерных расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, показанная на рисунке 5.

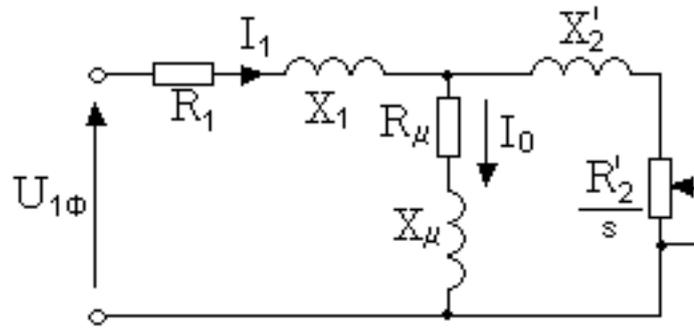


Рисунок 5 - Схема замещения асинхронного двигателя

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие принятой схеме замещения:

$$\overline{U_{1\phi}} - \overline{E_1} - j \cdot X_1 \cdot \overline{I_1} = 0;$$

$$\overline{E_1} + j \cdot X_2' \cdot \overline{I_2}' + R_2' \cdot \overline{I_2}' / s = 0;$$

$$\overline{I_1} + \overline{I_2}' - \overline{I_0} = 0.$$

Векторная диаграмма токов, ЭДС и напряжений, удовлетворяющих системе основных уравнений асинхронного двигателя, изображена на рисунке 6.

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя RA132SA по его каталожным данным в соответствии с методикой, изложенной в [2]. Расчеты выполним при следующих основных допущениях:

- магнитные и механические потери в двигателе составляют $0,02 P_n$;
- активные сопротивления статорной и роторной обмоток полагаются независимыми от режима работы двигателя, т.е. эффекты вытеснения не учитываются.

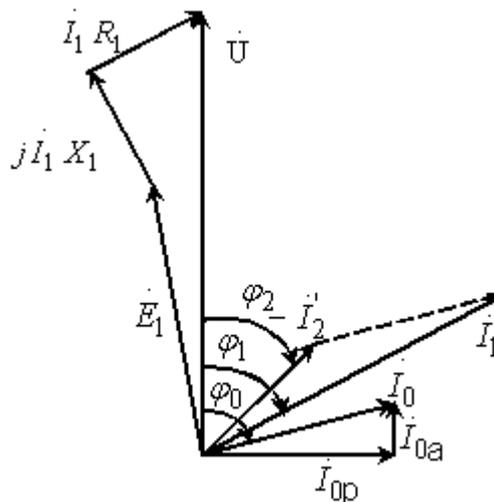


Рисунок 6 - Векторная диаграмма асинхронной машины

Номинальное скольжение двигателя

$$s_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0,04.$$

Ток двигателя при частичной нагрузке

$$I_{чз} = \frac{k_{чз} \cdot P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_{чз} \cdot \eta_{чз}} = \frac{0,75 \cdot 5500}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,85} = 8,651 \text{ A},$$

где $k_{чз} = 0,75$ - коэффициент частичной загрузки;

$\cos \varphi_{чз} = 0,85$ - коэффициент мощности при частичной нагрузке, определяется по рисунку 2.1 из [2].

$$\eta_{чз} \approx \eta = 0,85.$$

Ток холостого хода по формуле

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1чз}^2 - \left[I_{1н} \cdot k_{xp} \cdot \frac{1 - s_n}{1 - k_{чз} s_n} \right]^2}{1 - \left[k_{xp} \cdot \frac{1 - s_n}{1 - k_{чз} s_n} \right]^2}} = \sqrt{\frac{8,651^2 - \left[11 \cdot 0,75 \cdot \frac{1 - 0,04}{1 - 0,75 \cdot 0,04} \right]^2}{1 - \left[0,75 \cdot \frac{1 - 0,04}{1 - 0,75 \cdot 0,04} \right]^2}} = 4,217 \text{ A}.$$

Критическое скольжение определим в соответствии с формулой

$$s_{кр} = s_n \frac{\left[\kappa_m + \sqrt{\kappa_m^2 - [1 - 2s_n \beta (\kappa_m - 1)]} \right]}{1 - 2s_n \beta (\kappa_m - 1)} = 0,04 \frac{\left[3 + \sqrt{3^2 - [1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1(3 - 1)]} \right]}{1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1(3 - 1)} = 0,376,$$

где β - вспомогательный коэффициент (на начальном этапе принимаем $\beta = 1$, в дальнейшем β может принимать значение от 0,6 до 2,5).

Далее определяем ряд вспомогательных безразмерных коэффициентов

$$C_1 = \frac{I_0}{2k_T I_{1н}} + 1 = \frac{4,217}{2 \cdot 6,5 \cdot 11} + 1 = 1,029;$$

$$A_1 = 3U_{\phi н}^2 \frac{1 - s_n}{2C_1 \kappa_m P_n} = 3 \cdot 220^2 \frac{1 - 0,04}{2 \cdot 1,029 \cdot 3 \cdot 5500} = 4,103;$$

$$A_0 = \frac{I_{1н} \cos \varphi_n - I_0 \cos \varphi_0}{U_{\phi н}} = \frac{11 \cdot 0,89 - 4,217 \cdot 0,0139}{220} = 0,0142$$

$$B = \frac{1}{s_n} + \frac{1}{s_{кр}} - A_0 2 \frac{A_1}{s_n} = \frac{1}{0,04} + \frac{1}{0,376} - 0,0142 \cdot 2 \cdot \frac{4,103}{0,04} = 19,99$$

$$C = \frac{1}{s_n s_{kp}} - \left(\frac{1}{s_{kp}^2} + \frac{1}{s_n^2} \right) A_1 A_0 = \frac{1}{0,04 \cdot 0,376} - \left(\frac{1}{0,373^2} + \frac{1}{0,04^2} \right) \cdot 4,103 \cdot 0,0142 =$$

$$= -20,$$

где $\cos \varphi_0 = \cos 82^\circ = 0,139$ - коэффициент мощности АД в режиме холостого хода.

Теперь по найденным значениям проверяем величину заданного в начале расчёта коэффициента β

$$\beta_p = \left| \frac{-B}{2} + \sqrt{\frac{B}{2} - C} \right| = \left| \frac{-19,99}{2} + \sqrt{\frac{19,99}{2} - (-20)} \right| = 4,518.$$

Так как $\beta_p > \beta$, необходимо уменьшить начальное значение коэффициента β и повторить расчёт ещё раз. Если $\beta_p < \beta$, необходимо увеличить начальное значение коэффициента β . За несколько итераций удаётся получить удовлетворительные результаты.

Если разница между β_p и β не превышает установленной погрешности расчёта ($\approx 0,001$) можно переходить к непосредственному определению параметров машины. В результате расчёта в программе MathCAD получили значение $\beta = 2,336$.

Приведённое сопротивление ротора

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_{kp}} \right) C_1} = \frac{4,103}{\left(2,336 + \frac{1}{0,376} \right) \cdot 1,029} = 0,798 \text{ Ом}.$$

Сопротивление статора

$$R_1 = C_1 R'_2 \beta = 1,029 \cdot 0,798 \cdot 2,336 = 1,92 \text{ Ом}.$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_{kp}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,376^2} - 2,336^2} = 1,256.$$

Полное сопротивление цепи двигателя

$$X_n = \gamma C_1 R'_2 = 1,256 \cdot 1,029 \cdot 0,798 = 1,04 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление статора

$$X_1 = 0,42 x_n = 0,42 \cdot 1,04 = 0,437 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление ротора

$$X'_2 = 0,58 \frac{x_H}{C_1} = 0,58 \frac{1,04}{1,029} = 0,586 \text{ Ом}.$$

ЭДС статорной цепи

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{\phi H} \cos \varphi_H - I_{1H} R_1)^2 + (U_{\phi H} \sin \varphi_H - I_{1H} x_1)^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,89 - 11 \cdot 1,92)^2 + (220 \cdot 0,456 - 11 \cdot 0,437)^2} = 203,847 \text{ В}. \end{aligned}$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{203,847}{4,217} = 48,343 \text{ Ом}.$$

Приблизительный момент инерции печи

$$\begin{aligned} J_{II} &= \frac{\pi l \rho_M}{2} (R_1^4 - R_2^4) + \frac{\pi l \rho_C}{2} (R_2^4 - R_3^4) = \frac{3,14 \cdot 11,93 \cdot 7600}{2} (0,5^4 + 0,49^4) + \\ &+ \frac{3,14 \cdot 11,93 \cdot 1600}{2} (0,49^4 + 0,438^4) = 1313 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \end{aligned}$$

где R_1 – внешний радиус печи;

R_2 – внутренний радиус печи;

R_3 – радиус распределения сырья.

Момент инерции, приведённый к валу двигателя

$$J_\partial = J_\partial + \frac{J_n}{i^2} = 0,0155 + \frac{1313}{750^2} = 0,018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

1.5 Расчет и построение естественной механической и электромеханических характеристик электродвигателя

Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя определяется следующим выражением

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

Естественная механическая характеристика двигателя приведена на рисунке 7.

Механическая характеристика (рисунок 7), полученная при расчетах по параметрам схемы замещения и рассчитана в программной среде Matcad, соответствует асинхронному двигателю с ненасыщенной магнитной системой, а её своеобразие определяется зависимостью индуктивного сопротивления ротора от скольжения.

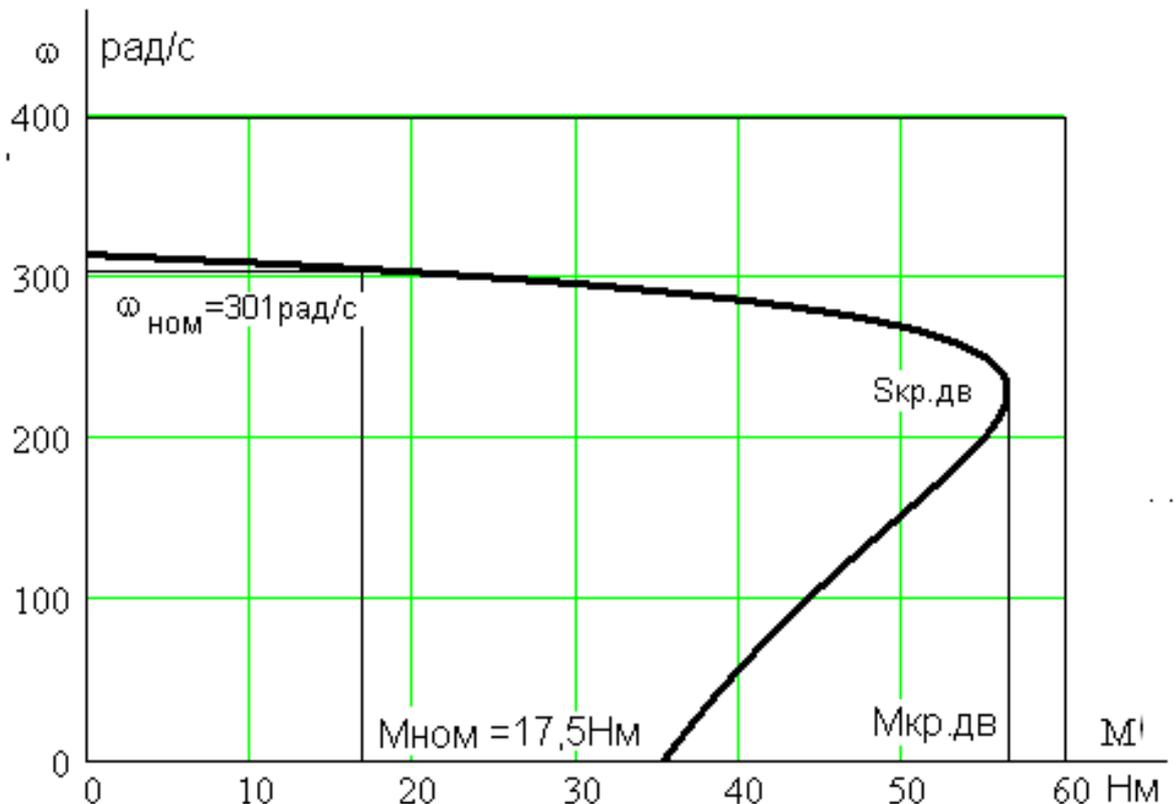


Рисунок 7 – Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя $M = f(\omega)$

Выражение для расчета электромеханической характеристики, определяющей зависимость приведенного тока ротора от скольжения s

$$I_2'(s) = \frac{U_{1j}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\text{эт}}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{м}}}\right)^2}}$$

Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя $I_2' = f(\omega)$ приведена на рисунке 8.

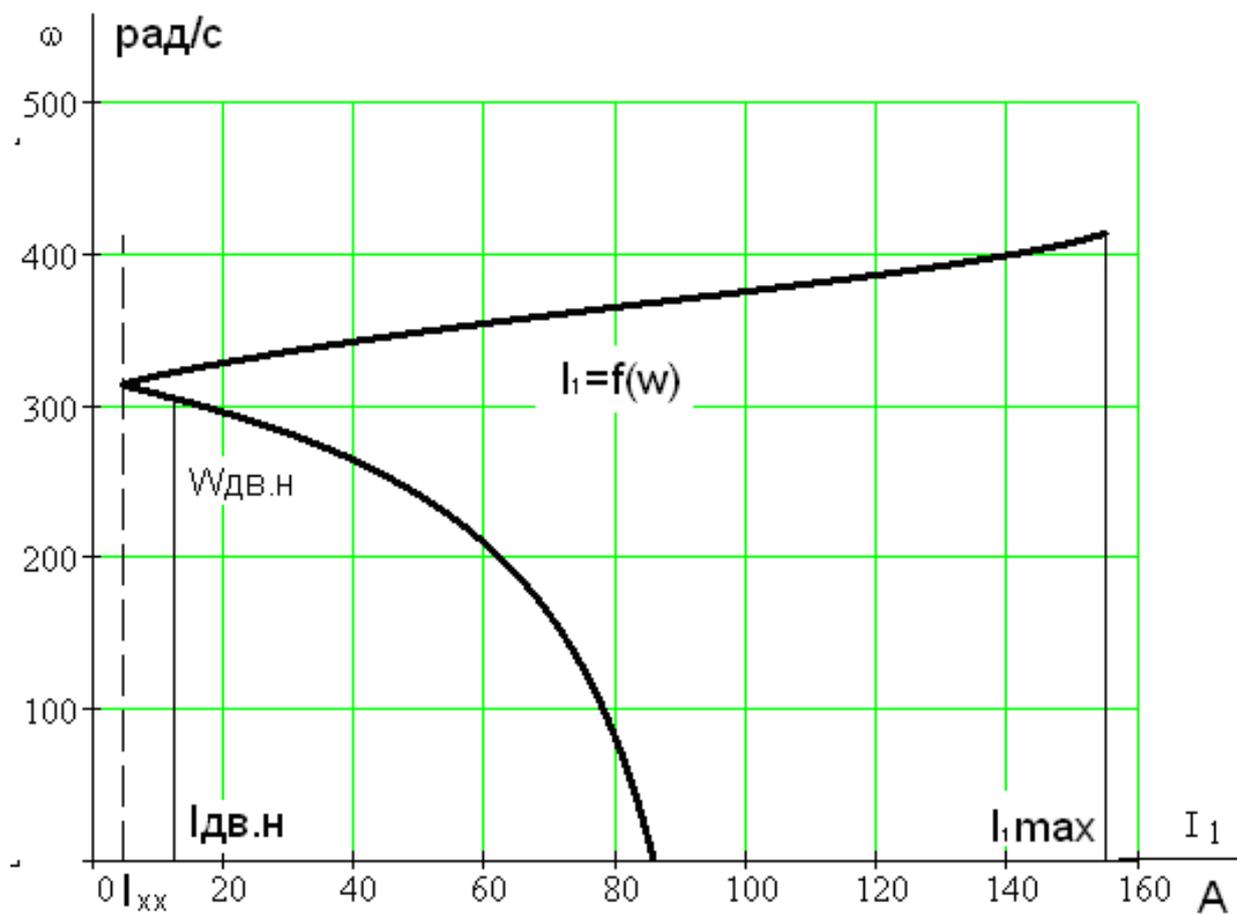


Рисунок 8 - Электромеханические характеристики асинхронного двигателя $I_1 = f(\omega), I_2 = f(\omega)$

2. Разработка электропривода вращающейся печи

2.1 Функциональная схема электропривода

Функциональная схема электропривода представлена на рисунке 9

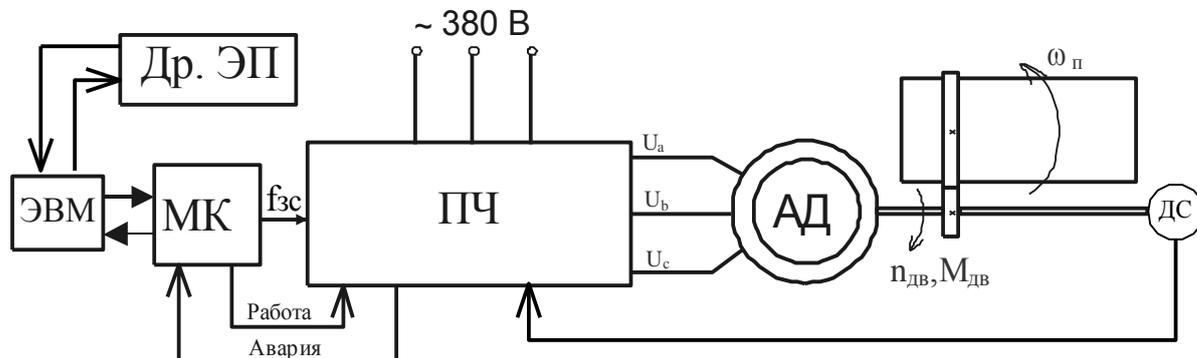


Рисунок 9 – Упрощенная функциональная схема электропривода

Функции управления ПЧ выполняет микроконтроллер, по своим параметрам и архитектуре идентичный с 8xС196МН. Функциональная схема электропривода показана на рисунке 11.

Выходы модуляторов ШИМ микропроцессорной системы через микросхемы драйверов IGBT подключаются к силовым ключам инвертора. Драйверы выполняют функции согласования между транзисторами IGBT и управляющими цепями микропроцессорной системы. Кроме того, данные устройства реализуют защитные функции, снимая управляющие импульсы с силовых ключей при пропадании питающего напряжения и перегрузках по току.

Силовой канал ПЧ собран по схеме с промежуточным звеном постоянного тока и трёхфазным инвертором напряжения. На рисунке 10 представлена соответствующая функциональная схема. Переменное напряжение трёхфазной сети, фазы А, В, С поступает на мостовой неуправляемый выпрямитель, диоды VD 1 – VD 6. Выпрямленное напряжение сглаживается электролитическим конденсатором большой ёмкости С и поступает на трёхфазный инвертор VT 1 – VT 6, ключами которого управляет микропроцессорная система. Напряжение на выходе инвертора формируется по закону ШИМ-модуляции и поступает к статорным обмоткам АД, фазы U, V, W.

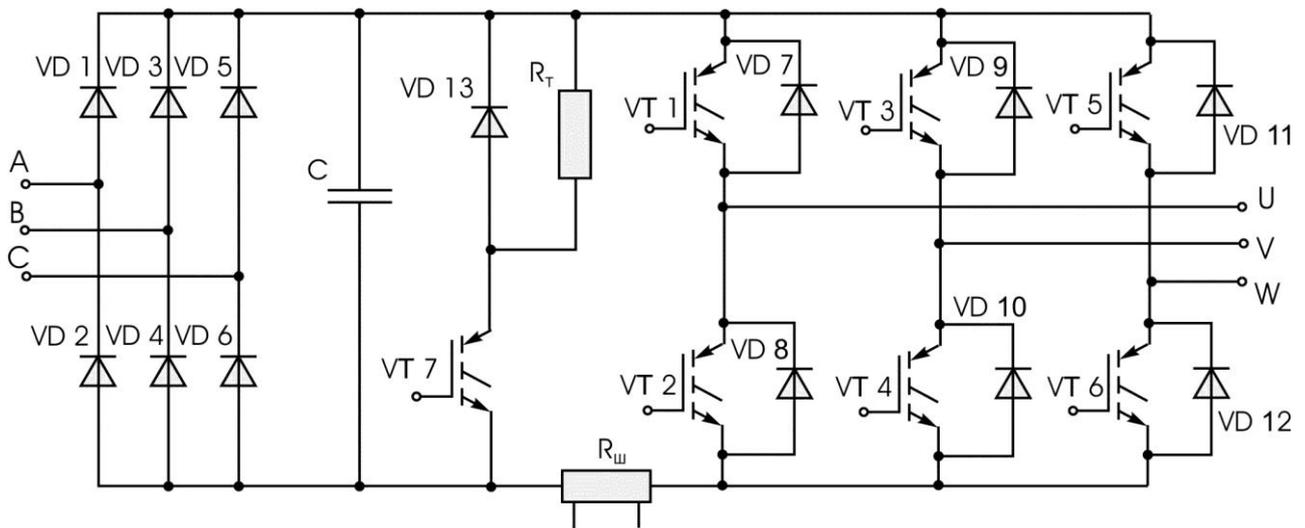


Рисунок 6- Схема силового канала ПЧ

В качестве силовых ключей инвертора используются IGBT транзисторы с высокой нагрузочной способностью. Для исключения токов ЭДС самоиндукции в моменты коммутации и устранения обратных напряжений, параллельно IGBT транзисторам включаются быстродействующие диоды VD 7 – VD 13. Шунт $R_{ш}$ включён в силовую цепь для контроля за величиной протекающего тока и выполняет функции защиты. Кроме того, в процессе работы преобразователя происходит постоянный контроль за величиной выпрямленного напряжения.

Конструктивно все элементы преобразователя размещены на двух платах, установленных друг над другом в пластиковом корпусе. На верхней крышке расположен жидкокристаллический индикатор и пульт управления. Непосредственно под крышкой находится основная плата управления. На ней располагаются компоненты микропроцессорной системы и разъёмы для подключения дополнительных и внешних устройств.

На силовой плате размещён силовой модуль с IGBT транзисторами, драйверы, датчики тока, конденсаторы фильтра цепи выпрямленного напряжения, блок питания.

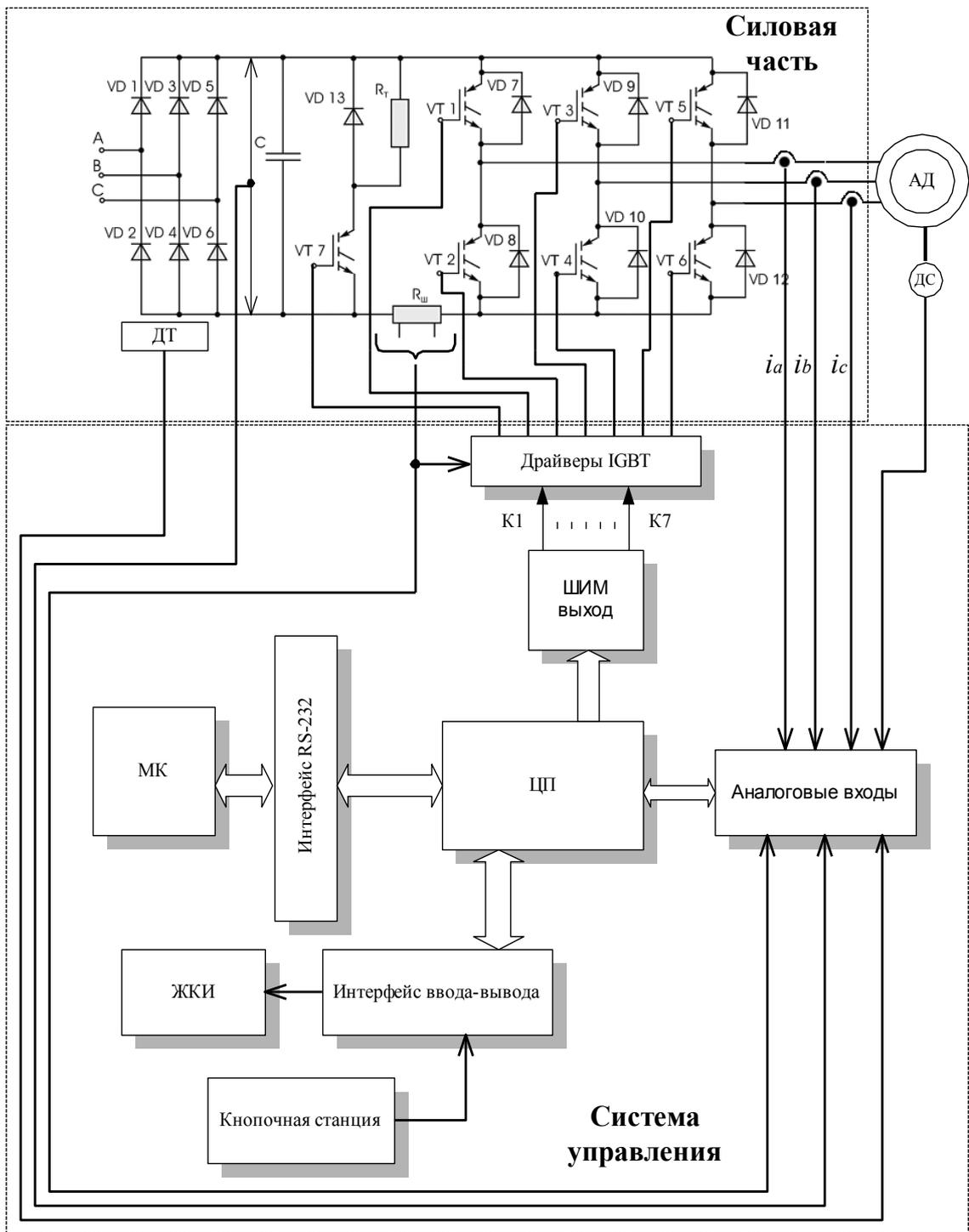


Рисунок 11– Функциональная схема преобразователя частоты

Модуль включает в себя диоды выпрямителя, IGBT транзисторы инвертора, шунт, температурный датчик и дополнительный ключ для «слива» энергии в тормозных режимах. Данный модуль соединён с теплоотводящим радиатором и находится на нижней стороне платы силовых элементов. На этом

же радиаторе размещены резистор торможения и температурный датчик для контроля за тепловым режимом.

2.2 Выбор преобразователя частоты

В соответствии с техническими требованиями к электроприводу и выбранным способом регулирования выбираем преобразователь частоты модели EI-9011-007-H

Параметры данного преобразователя частоты приведены в таблице 1.

Таблица 1- Преобразователи частоты

Модель EI – 9011 -		001-H	002-H	003-H	005-H	007-H	010-H	015-H	020-H	025-H	030-H	040-H	050-H	060-H	075-H	100-H	125-H	150-H	175-H	200-H	250-H	300-H	400-H
Максимальная мощность применяемого двигателя, кВт		1,1	1,5	2,2	3,7	5,5	7,5	11	15	18,5	22	30	37	45	55	75	93	110	132	160	185	220	300
Выходные характеристики	Полная мощность преобразователя, кВА	1	2	3	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100	125	150	175	200	250	300	400
	Номинальный выходной ток, А	3,4	4,8	6,2	7,5	11,5	18	25	31	40	44	60	75	90	110	150	180	220	260	300	340	450	605
	Максимальное выходное напряжение	Трехфазное 380/400/415/440/460 В (пропорционально входному напряжению)																					
	Номинальная выходная частота	Вплоть до 400 Гц (достигается посредством программирования)																					
Источник питания	Номинальное входное напряжение и частота	Трехфазное 380/400/440/460 В 50/60 Гц																					
	Допустимые отклонения напряжения	+ 10%, - 15%																					
	Допустимые отклонения частоты	±5%																					
Характеристики цепи управления	Метод управления	Синусоидальная широтно-импульсная модуляция																					
	Стартовый крутящий момент	150% при 1Гц (150% при 0 об/мин с импульсным датчиком вращения)																					
	Диапазон управления скоростью	1:100 (1:1000 с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Точность управления скоростью	± 0,2% (± 0,02% с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Полоса пропускания ПИД-регулятора по скорости	5 Гц (30 Гц с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Ограничение крутящего момента	Определяется уставками (по одному параметру для каждого из четырех квадрантов)																					
	Точность по моменту	± 5%																					
	Полоса пропускания ПИД-регулятора по моменту	20 Гц (40 Гц с использованием импульсного датчика вращения)																					
	Диапазон управления частотой	от 0,1 до 400 Гц																					
	Точность частотных режимов	Цифровая команда: ±0,01% (от -10°C до +40°C)																					
		Аналоговая команда: ±0,1% (25°C ± 10°C)																					
	Разрешение по частоте	Опорный цифровой сигнал: ± 0,01 Гц																					
		Опорный аналоговый сигнал: ±0,03 Гц / 60 Гц (11 бит + код)																					
	Разрешение по частоте	0,01 Гц																					
	Запас по перегрузке	150% от номинального выходного тока 1 минуту																					
Сигнал задания частоты	от -10 до 10 В, от 0 до 10 В, от 4 до 20 мА																						
Время разгона/торможения	от 0,01 до 3 600 с (Времена разгона/торможения имеют независимые уставки, возможны 4 ступени)																						
Тормозящий крутящий момент	Порядка 20% (с тормозным резистором - примерно 125%)*																						
	Тормозной прерыватель встроен (11 кВт и менее)									Тормозной прерыватель может быть встроен или использован внешний (от 15 кВт до 160 кВт включительно)									Внешний тормозной прерыватель				

Продолжение таблицы 1- Преобразователи частоты

Защитные функции	Защита электродвигателя от перегрузки	Защищен с помощью электронного термического реле перегрузки
	Мгновенная перегрузка по току	Электродвигатель инерционно останавливается примерно при 200% от номинального тока преобразователя
	Защита плавкими предохранителями	При нарушении предохранителей электродвигатель инерционно останавливается
	Перегрузка	Электродвигатель начинает инерционно останавливаться через минуту работы при 150% от номинального тока преобразователя
	Перенапряжение	Электродвигатель инерционно останавливается, если напряжение на шине постоянного тока превышает 820 В
	Недостаточное напряжение	Электродвигатель инерционно останавливается, если напряжение на шине постоянного тока ≤ 380 В
	Кратковременное отключение питания	Немедленное отключение при кратковременном прекращении подачи питания на 15 мс (заводская установка) и более. Предусмотрена возможность продолжения управления при прекращении подачи питания на 2 с и менее.
	Перегрев радиатора-теплоотвода	Защищен термистором
	Предотвращение срыва	Предотвращение срыва во время разгона/торможения и вращения с постоянной скоростью
	Защита от токов утечек	Защищен электронной цепью (нарушение баланса выходных токов)
Окружающая среда	Световой индикатор "Заряд"	Световой индикатор "Заряд" горит, пока напряжение шины не упадет ниже 50 В
	Температура окружающей среды	$-10^{\circ}\dots +40^{\circ}\text{C}$ (в пластмассовом корпусе) и $-10^{\circ}\dots +45^{\circ}\text{C}$ (в металлическом корпусе)
	Влажность	Относительная влажность не более 90%
	Температура хранения	от -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$
	Размещение	Внутри помещения, защищенного от коррозионных газов и пыли
	Высотность	Не более 1000 м

Расшифровка маркировки преобразователя:

Е1 – 9011

– 007

- Н

Серия преобразователя частоты

Полная мощность преобразователя
007 = 7,5 кВА

Напряжение питания ~380 В

3. Расчёт параметров оптимальной настройки системы

3.1 Структурная схема векторного управления системы

преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Термин векторное управление означает, что переменные контролируются не только по амплитуде но и по фазе. Суть метода состоит в раздельном управлении компонентами вектора тока статора i_{sq} и i_{sd} , являющимися проекциями результирующего вектора i_1 на вращающиеся векторы \mathbf{q} и \mathbf{d} координатной системы, связанной с вектором потокоосцепления ротора Ψ_r . Известно, что электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален потокоосцеплению ротора Ψ_r и составляющей тока статора по оси \mathbf{q} . Если поддерживать неизменным потокоосцепление ротора путём регулирования составляющей тока статора по оси \mathbf{d} , то момент двигателя будет прямо пропорционален току i_{sq} , так, как и в обычных коллекторных двигателях постоянного тока. Соответственно изменение составляющей i_{sd} эквивалентно регулированию частоты вращения двигателя постоянного тока при изменении магнитного потока. Обозначения, принятые на схеме:

ЗИ – задатчик интенсивности;

Ф – фильтр;

РПС – регулятор потокоосцепления;

РС – регулятор скорости;

РТ _{i_{sx}} - регулятор тока i_{sx} ;

РТ _{i_{sy}} - регулятор тока i_{sy} ;

БР – блок развязки;

ПКП – прямой координатный преобразователь;

ОКП – обратный координатный преобразователь;

Идеал. ПЧ – идеализированный преобразователь частоты.

Полная структурная схема представлена в графической части.

3.1.1 Модель асинхронного двигателя

Модель с ориентацией системы координат по вектору потокосцеплений ротора. Структурная схема модели асинхронного двигателя построена на системе уравнений [4]

$$U_s = L_\sigma p I_s + (R_\sigma + \omega_k B L_\sigma) I_s + (\omega_k B - k_r a_r + p k_r) \psi_r;$$

$$k_r R_r I_s = p \psi_r + (a_r + \beta_k B) \psi_r;$$

$$\psi_m + L_{r\sigma} I_m = \psi_r + C L_{r\sigma} I_s;$$

$$\psi_m = F_m I_m;$$

$$\beta_k = p(\theta_k - \theta);$$

$$I_s^{Fs} = A_s^{-1} I_s.$$

При допущении $l_m = \text{const}$ структурная схема модели значительно упрощается и приобретает вид, представленный на рисунке 9.

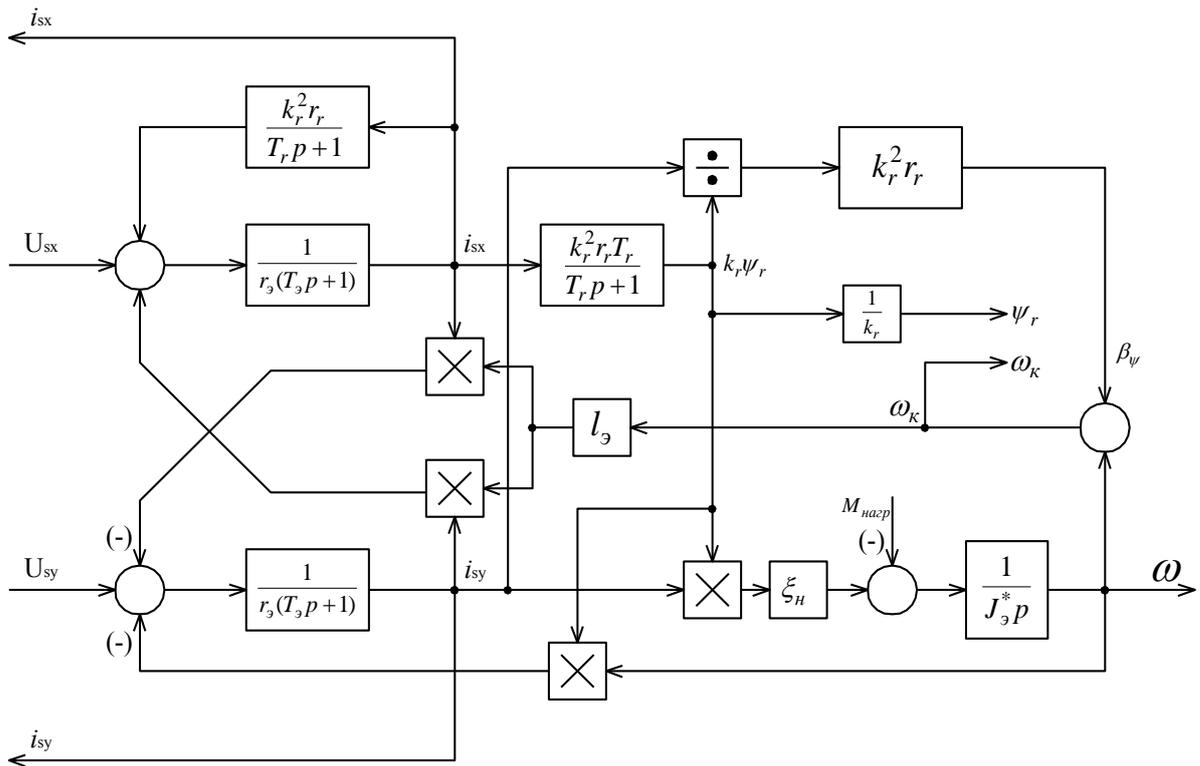


Рисунок 9 – Структурная схема модели асинхронного двигателя

Расчёт параметров модели [4]

$$k_r = \frac{l_m}{l_m + l_{r\sigma}} = \frac{2,417}{2,417 + 0,029} = 0,988;$$

$$r_3 = r_s + k_r^2 r_r = 0,096 + 0,988^2 \cdot 0,04 = 0,135;$$

$$T_3 = \frac{l_{s\sigma} + k_r l_{r\sigma}}{r_s + k_r^2 r_r} = \frac{0,022 + 0,988 \cdot 0,029}{0,096 + 0,988^2 \cdot 0,04} = 0,376;$$

$$T_r = \frac{l_m + l_{r\sigma}}{r_r} = \frac{2,417 + 0,029}{0,04} = 61,315;$$

$$l_3 = l_{s\sigma} + k_r l_{r\sigma} = 0,022 + 0,988 \cdot 0,029 = 0,051;$$

$$\xi_H = \frac{1}{\cos\varphi_H - \frac{I_{1H} R_1}{U_{1H}}} = \frac{1}{0,89 - \frac{11 \cdot 1,92}{220}} = 1,259.$$

Полезно отметить, что постоянные времени T_3 и T_r имеют такой же физический смысл и примерно те же величины, что и электромагнитные постоянные времени цепей якоря и возбуждения компенсированных машин постоянного тока.

3.1.2 Прямой преобразователь координат

Преобразователь координат служит для преобразования векторов U_{sa} , U_{sb} , U_{sc} в вектора U_{sx} и U_{sy} .

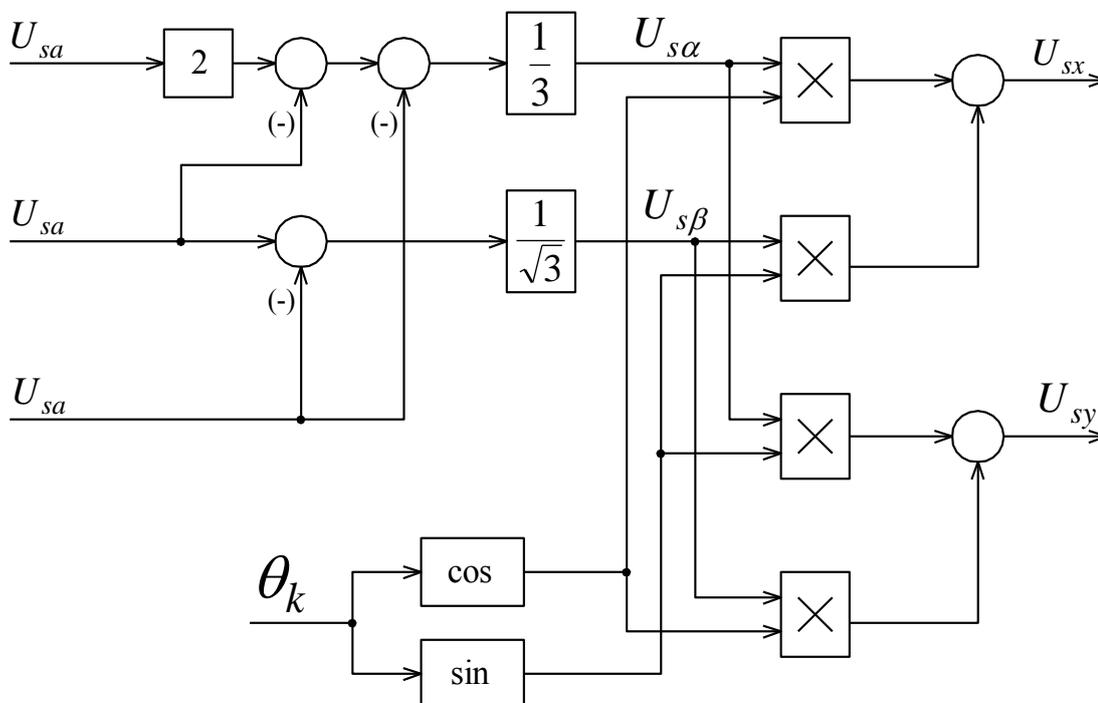


Рисунок 10 – структурная схема прямого преобразователя координат

Прямой преобразователь координат описывается уравнениями

$$U_{s\alpha} = \frac{1}{3}(2U_{sa} - U_{sb} - U_{sc});$$

$$U_{s\beta} = \frac{1}{3}(U_{sb} - U_{sc}).$$

$U_{s\alpha}, U_{s\beta}$ – напряжения, представленные в неподвижной “двухфазной” системе координат.

$$U_{sx} = U_{s\alpha} \cos \theta_k + U_{s\beta} \sin \theta_k;$$

$$U_{sy} = U_{s\beta} \cos \theta_k + U_{s\alpha} \sin \theta_k.$$

U_{sx}, U_{sy} – напряжения, представленные во вращающейся системе координат, θ_k – угол поворота координатной системы.

3.1.3 Обратный преобразователь координат

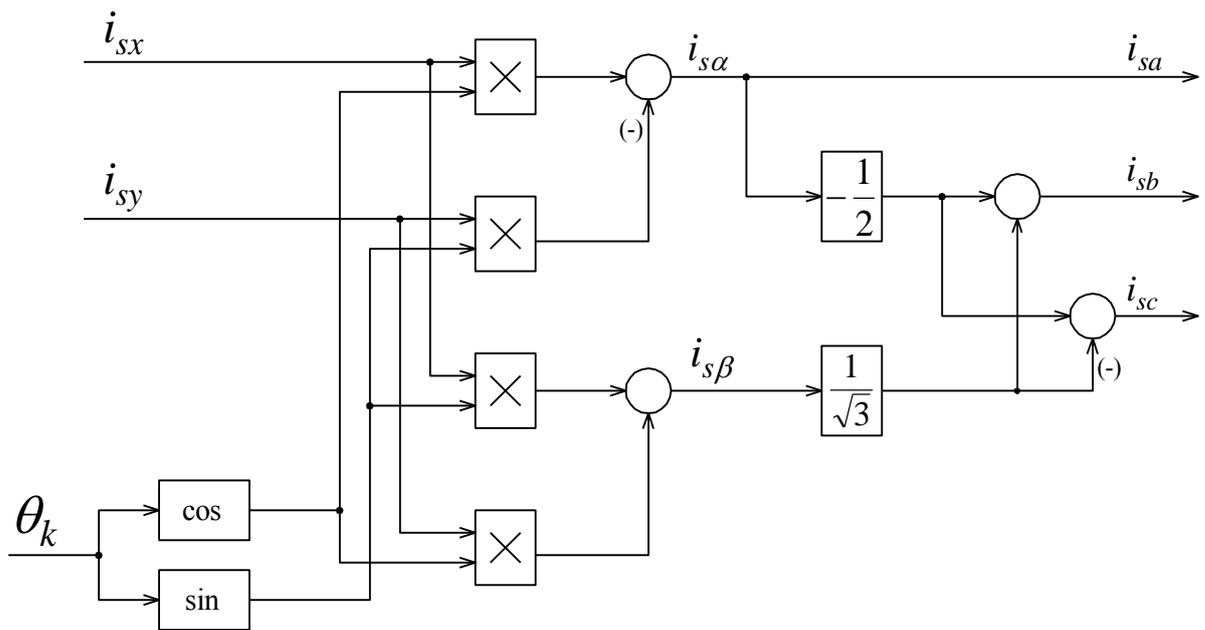


Рисунок 11 – Структурная схема обратного координатного преобразователя

Обратный преобразователь координат описывается уравнениями

$$i_{s\alpha} = i_{sx} \cos \theta_k - i_{sy} \sin \theta_k;$$

$$i_{s\beta} = i_{sx} \sin \theta_k + i_{sy} \cos \theta_k.$$

$i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ – напряжения, представленные в неподвижной “двухфазной” системе координат.

$$i_{sa} = i_{s\alpha};$$

$$i_{s\alpha} = -\frac{1}{2}i_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{s\beta};$$

$$i_{sc} = -\frac{1}{2}i_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2}i_{s\beta}.$$

i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} – токи в трёхфазной системе координат.

3.1.4 Идеализированный преобразователь частоты

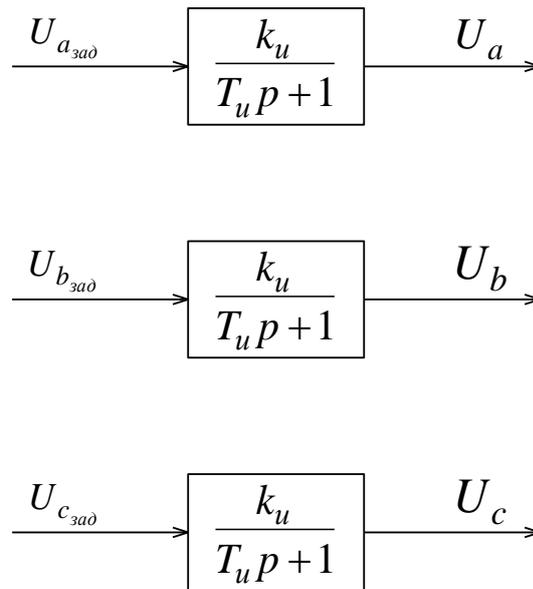


Рисунок 12 – Структурная схема идеализированного преобразователя частоты

k_u – коэффициент передачи инвертора.

Для системы относительных единиц $k_u=1$.

T_u – постоянная времени инвертора. Определяется несущей частотой коммутации транзисторов ($f_H=5$ кГц) с учётом относительного времени ($t_\sigma=1/314.15$ с)

$$T_u = \frac{1}{f_H} t_\sigma = \frac{1}{5000} \cdot 314,15 = 0,063.$$

3.1.5 Блок развязки

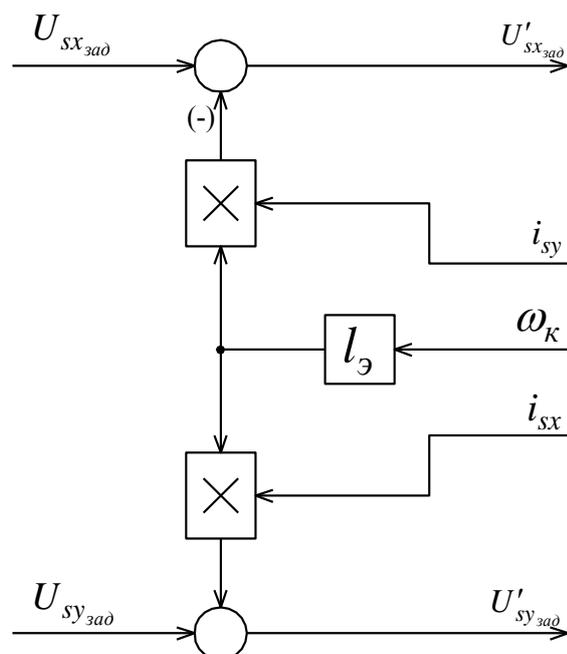


Рисунок 13 – Структурная схема блока развязки

Блок развязки позволяет компенсировать влияние перекрёстных обратных связей в модели асинхронного двигателя, В результате получаем автономное регулирование составляющих тока статора i_{sx} и i_{sy} .

3.2 Система относительных единиц

В дальнейшем все параметры и переменные состояния электропривода представляются в относительных единицах.

Обобщённая формула перехода к относительным единицам имеет вид

$$y = \frac{Y}{Y_6},$$

где Y – значение физической величины (параметра, воздействия, переменной состояния и др.) в исходной системе единиц;

Y_6 – базисное значени, выраженное в той же исходной системе и принятое в качестве единицы измерения величины Y в системе относительных единиц;

y – значение величины в системе относительных единиц.

Для относительных значений угловой частоты напряжения и тока статора $\omega_s = \Omega_s / \Omega_6$, действующего значения фазного напряжения статора $u_s = U_s / U_6$, тока

статора $i_s = I_s / I_\delta$ и относительной величины электромагнитного момента $m_s = M / M_\delta$ базисными примем из значения в точке номинального режима двигателя:

$$\Omega_\delta = \Omega_{s.H} = 2\pi f_{s.H} = 2 \cdot 3,1415 \cdot 50 = 314 \text{ об/мин};$$

$$U_\delta = U_{s.H} = 220 \text{ В};$$

$$I_\delta = I_{s.H} = 11 \text{ А};$$

$$M_\delta = M_{эм.н} = \frac{P_{эм.н}}{\Omega_{0.н}} = \frac{6229,08}{3000} = 19,828 \text{ н} \cdot \text{м},$$

где $P_{эм}$ – электромагнитная мощность идеализированного АД

$$P_{эм.н} = 3U_{s.H}I_{s.H} \cos \varphi_H - I_{s.H}^2 R_1 = 3 \cdot 220 \cdot 11 \cdot 0,89 - 11^2 \cdot 1,92 = 6229,08 \text{ Вт};$$

$\Omega_{0.н}$ – частота вращения магнитного поля АД

$$\Omega_{0.н} = \frac{\Omega_\delta}{z_p} = \frac{314,15}{1} = 314,15 \text{ рад/с}.$$

Момент инерции в относительных единицах

$$J'_3 = \frac{J_3}{J_\delta} = \frac{0,018}{2,104 \cdot 10^{-5}} = 847,634,$$

где J_δ – базовый момент инерции

$$J_\delta = \frac{M_\delta T_\delta z_p}{\Omega_\delta} = \frac{19,828 \cdot 3,183 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{3000} = 2,104 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Переведём значения параметров двигателя в систему относительных единиц.

Сопротивление обмотки статора

$$r_s = \frac{R_1}{Z_\delta} = \frac{1,92}{20} = 0,096$$

Сопротивление обмотки ротора

$$r_r = \frac{R'_2}{Z_\delta} = \frac{0,798}{20} = 0,04$$

Индуктивное сопротивление намагничивания

$$l_m = \frac{X_\mu}{Z_{\bar{\sigma}}} = \frac{48.343}{20} = 2.417$$

Индуктивное сопротивление статора

$$l_{s\sigma} = \frac{X_1}{Z_{\bar{\sigma}}} = \frac{0,437}{20} = 0.022$$

Индуктивное сопротивление ротора

$$l_{r\sigma} = \frac{X_1}{Z_{\bar{\sigma}}} = \frac{0,586}{20} = 0.029$$

Произведём проверку правильности расчёта. Для этого воспользуемся квадратным уравнением

$$A \cdot s_H^2 + B \cdot s_H + C = 0,$$

где

$$A = r_r^{-2} \left[(r_s^2 - 1)(1 + l_{r\sigma} l_m)^2 + (l_{s\sigma} + l_{r\sigma} + l_{s\sigma} l_{r\sigma} l_m^{-1})^2 \right] =$$

$$= 0,029^{-2} \left[(0,096^2 - 1)(1 + 0,029 \cdot 2,417)^2 + \left(0,022 + 0,029 + \frac{0,022 \cdot 0,029}{2,417} \right)^2 \right] = -635,867$$

$$B = 2r_s r_r^{-1} = 2 \cdot 0,096 \cdot 0,04 = 4,812$$

$$C = l_m^{-2} (r_s^2 + (l_m + l_{s\sigma})^2 - 1) = 2,417^{-2} (0,096^2 + (2,417 + 0,022)^2 - 1) = 0,849$$

Решая квадратное уравнение, получим $s_H = 0,042$, следовательно расчёт произведён верно.

3.3 Контур тока i_{sx}

Регулятор тока i_{sx} имеет структуру ПИ-регулятора

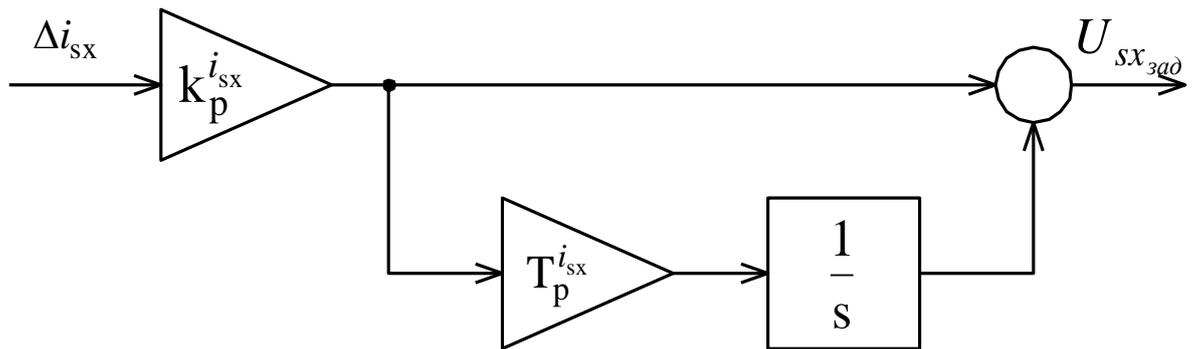


Рисунок 14 – ПИ регулятор тока

Параметры регулятора определяются исходя из свойств объекта регулирования контура тока i_{sx} с учётом настройки на модульный оптимум.

Структурная схема контура тока i_{sx} представлена на рисунке 15.

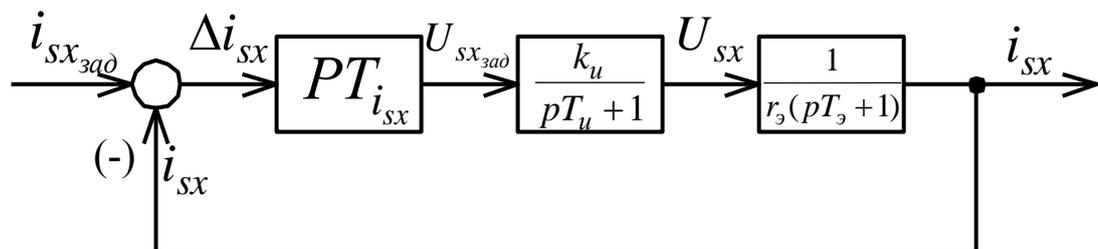


Рисунок 15 – Структурная схема контура тока i_{sx}

Передаточная функция регулятора тока i_{sx}

$$W_p^{i_{sx}} = \frac{r_9(pT_9 + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_\mu^{i_{sx}} (pT_\mu^{i_{sx}} + 1) k_u}.$$

Принимаем $T_\mu^{i_{sx}} = T_u = 0,063$ с, тогда

$$W_p^{i_{sx}} = \frac{r_9(pT_9 + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_\mu^{i_{sx}} (pT_\mu^{i_{sx}} + 1) k_u} = \frac{r_9(pT_9 + 1)}{p^2 T_u k_u} = \frac{r_9 T_9}{2 T_u k_u} \cdot \frac{(pT_9 + 1)}{pT_9}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора тока

$$k_p^{i_{sx}} = \frac{r_9 T_9}{2 T_u k_u} = \frac{0,135 \cdot 0,376}{2 \cdot 0,063 \cdot 1} = 0,403;$$

$$T_p^{i_{sx}} = T_9 = 0,376.$$

3.4 Контур тока i_{sy}

Регулятор тока i_{sy} имеет структуру ПИ-регулятора, идентичную регулятору i_{sx} . Параметры определяются исходя из свойств объекта регулирования контура тока i_{sy} (пренебрегаем влиянием обратной связи по ЭДС) с учётом настройки на модульный оптимум.

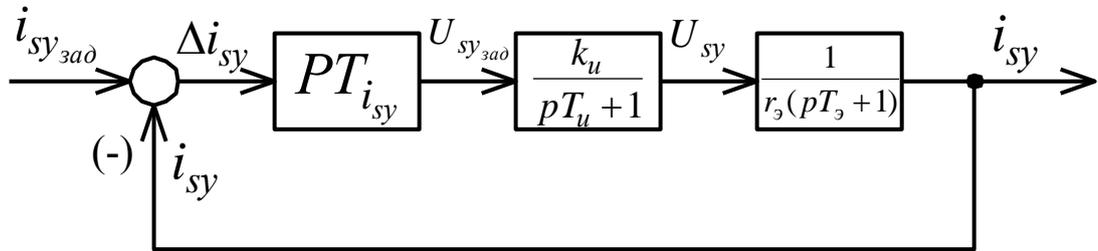


Рисунок 16 – Структурная схема контура тока i_{sy}

Передаточная функция регулятора тока i_{sy}

$$W_p^{i_{sy}} = \frac{r_э(pT_э + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_\mu^{i_{sy}} (pT_\mu^{i_{sy}} + 1) k_u}.$$

Принимаем $T_\mu^{i_{sy}} = T_u$, тогда

$$W_p^{i_{sy}} = \frac{r_э(pT_э + 1)(pT_u + 1)}{p^2 T_\mu^{i_{sy}} (pT_\mu^{i_{sy}} + 1) k_u} = \frac{r_э(pT_э + 1)}{p^2 T_u k_u} = \frac{r_э T_э}{2T_u k_u} \cdot \frac{(pT_э + 1)}{pT_э}.$$

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора тока

$$k_p^{i_{sy}} = \frac{r_э T_э}{2T_u k_u} = \frac{0,135 \cdot 0,376}{2 \cdot 0,063 \cdot 1} = 0,403;$$

$$T_p^{i_{sy}} = T_э = 0,376.$$

3.5 Контур потокосцепления

Регулятор потокосцепления РПС ротора Ψ_r имеет структуру ПИ-регулятора. Параметры регулятора определяются исходя из объекта регулирования контура потокосцепления с учётом настройки на модульный оптимум.

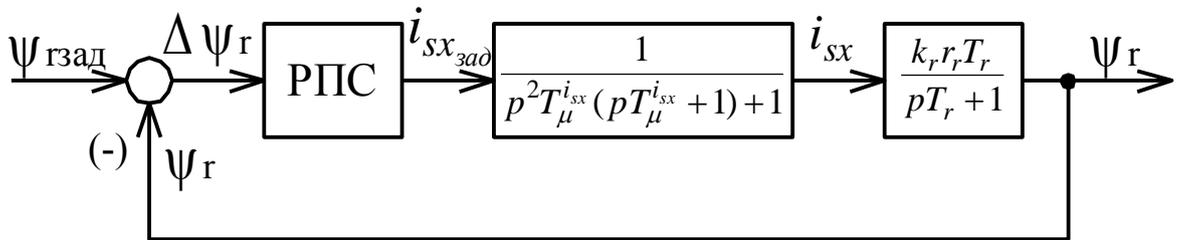


Рисунок 17 – Структурная схема контура потокосцепления

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора потокосцепления

$$k_p^{\Psi_r} = \frac{1}{4T_u k_r r_r} = \frac{1}{4 \cdot 0.063 \cdot 0.988 \cdot 0.04} = 100.41;$$

$$T_p^{\Psi_r} = T_r = 61.315.$$

3.6 Контур скорости

Регулятор скорости РС имеет структуру типа ПИ. Параметры определяются свойствами объекта регулирования контура скорости с учётом настройки на симметричный оптимум и наличием входного фильтра.

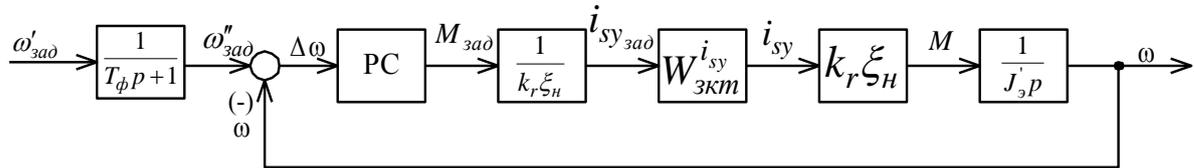


Рисунок 18 – Структурная схема контура скорости

Коэффициент усиления и постоянная времени регулятора скорости

$$k_r^\omega = \frac{26 \cdot J'_\omega}{512 \cdot T_u} = \frac{26 \cdot 847,634}{512 \cdot 0,063} = 683,237;$$

$$T_r^\omega = 26T_u = 26 \cdot 0,063 = 1,638.$$

Постоянная времени фильтра

$$T_\phi = T_r^\omega = 26T_u = 26 \cdot 0,063 = 1,638.$$

3.7 Ожидаемые параметры функционирования электропривода

3.7.1 Контуры тока

Полоса пропускания контура тока i_{sx}

$$f_{n i_{sx}}^{(M)} = f_{n i_{sx}}^{(\phi)} = \frac{0,71}{2\pi T_{\mu i_{sx}}} = \frac{0,71}{2\pi T_{\mu i_u}} = \frac{0,71}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,063} = 1,8.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sx}}^{(M)} = F_{n i_{sx}}^{(\phi)} = f_{n i_{sx}}^{(M)} / t_{\delta} = 1,8 \cdot 314,15 = 565,47 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания контура тока i_{sy}

$$f_{n i_{sy}}^{(M)} = f_{n i_{sy}}^{(\phi)} = \frac{0,71}{2\pi T_{\mu i_{sy}}} = \frac{0,71}{2\pi T_{\mu}} = \frac{0,71}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,063} = 1,8.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sy}}^{(M)} = F_{n i_{sy}}^{(\phi)} = f_{n i_{sy}}^{(M)} \cdot t_{\delta} = 1,8 \cdot 314,15 = 565,47 \text{ Гц}.$$

Перерегулирование

$$\sigma^{i_{sx}} = \sigma^{i_{sy}} = 4,3\%.$$

Время переходного процесса

$$t_{py1}^{i_{sx}} = t_{py2}^{i_{sx}} = t_{py1}^{i_{sy}} = t_{py2}^{i_{sy}} = 4,1T_{\mu}^{i_{sx}} = 4,1T_u = 4,1 \cdot 0,063 = 0,2583.$$

В абсолютных единицах

$$T_{py1}^{i_{sx}} = T_{py2}^{i_{sx}} = T_{py1}^{i_{sy}} = T_{py2}^{i_{sy}} = t_{py1}^{i_{sx}} \cdot t_{\delta} = 0,2583 / 314,15 = 8,22 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

3.7.2 Контур потокосцепления

Полоса пропускания контура по модулю

$$f_{n \psi}^{(M)} = \frac{1}{2\pi T_{\mu \psi}} = \frac{1}{4\pi T_{\mu i_{sx}}} = \frac{1}{4\pi T_u} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,063} = 1,26.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n \psi}^{(M)} = f_{n \psi}^{(M)} \cdot t_{\delta} = 1,26 \cdot 314,15 = 395,841 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания контура по фазе

$$f_{n \psi}^{(\phi)} = \frac{0,72}{2\pi T_{\mu\psi}} = \frac{0,72}{4\pi T_{\mu i_{sx}}} = \frac{0,72}{4\pi T_u} = \frac{0,72}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,063} = 0,91.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n \psi}^{(\phi)} = f_{n \psi}^{(\phi)} \cdot t_{\delta} = 0,91 \cdot 314,15 = 285,885 \text{ Гц}.$$

Перерегулирование

$$\sigma^{\psi} = 8,1\%.$$

Время переходного процесса

$$t_{py1}^{\psi} = 3,5T_{\mu}^{\psi} = 7T_{\mu}^{i_{sx}} = 7T_u = 7 \cdot 0,063 = 0,441;$$

$$t_{py2}^{\psi} = 6T_{\mu}^{\psi} = 12T_{\mu}^{i_{sx}} = 12T_u = 12 \cdot 0,063 = 0,756.$$

В абсолютных единицах

$$T_{py1}^{\psi} = t_{py1}^{\psi} \cdot t_{\delta} = 0,441/314,15 = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

$$T_{py2}^{\psi} = t_{py2}^{\psi} \cdot t_{\delta} = 0,756/314,15 = 2,41 \cdot 10^{-3} \text{ с}$$

3.7.3 Контур скорости

Полоса пропускания контура по модулю

$$f_{n \omega}^{(M)} = \frac{0,5}{2\pi T_{\mu\omega}} = \frac{0,5}{16\pi T_{\mu i_{sx}}} = \frac{1}{32\pi T_u} = \frac{1}{32 \cdot 3,14 \cdot 0,063} = 0,158.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n \omega}^{(M)} = f_{n \omega}^{(M)} \cdot t_{\delta} = 0,158 \cdot 314,15 = 49,64 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания контура с по фазе

$$f_{n \omega}^{(\phi)} = \frac{0,36}{2\pi T_{\mu\omega}} = \frac{0,36}{16\pi T_{\mu i_{sy}}} = \frac{0,09}{4\pi T_u} = \frac{0,09}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,063} = 0,114.$$

В абсолютных единицах

$$F_{n \omega}^{(\phi)} = f_{n \omega}^{(\phi)} \cdot t_{\delta} = 0,114 \cdot 314,15 = 35,81 \text{ Гц}.$$

Перерегулирование

$$\sigma^{\omega} = 8,1\% .$$

Время переходного процесса

$$t_{py1}^{\omega} = 7T_{\mu}^{\omega} = 56T_{\mu}^{i_{sy}} = 56T_u = 56 \cdot 0,063 = 3,528 ;$$

$$t_{py2}^{\omega} = 12T_{\mu}^{\psi} = 96T_{\mu}^{i_{sy}} = 96T_u = 96 \cdot 0,063 = 6,048 .$$

В абсолютных единицах

$$T_{py1}^{\omega} = t_{py1}^{\omega} \cdot t_{\delta} = 3,528 / 314,15 = 1,123 \cdot 10^{-2} \text{ c} .$$

$$T_{py2}^{\omega} = t_{py2}^{\omega} \cdot t_{\delta} = 6,048 / 314,15 = 1,925 \cdot 10^{-2} \text{ c}$$

4. Имитационное моделирование

На основании структурной схемы электропривода (рисунок 8) строим модель двигателя в пакете MATLAB Simulink 4. Исследуемая модель электропривода является линеаризованной.

4.1 Логарифмические амплитудно – частотные характеристики

4.1.1 Контур тока i_{sx}

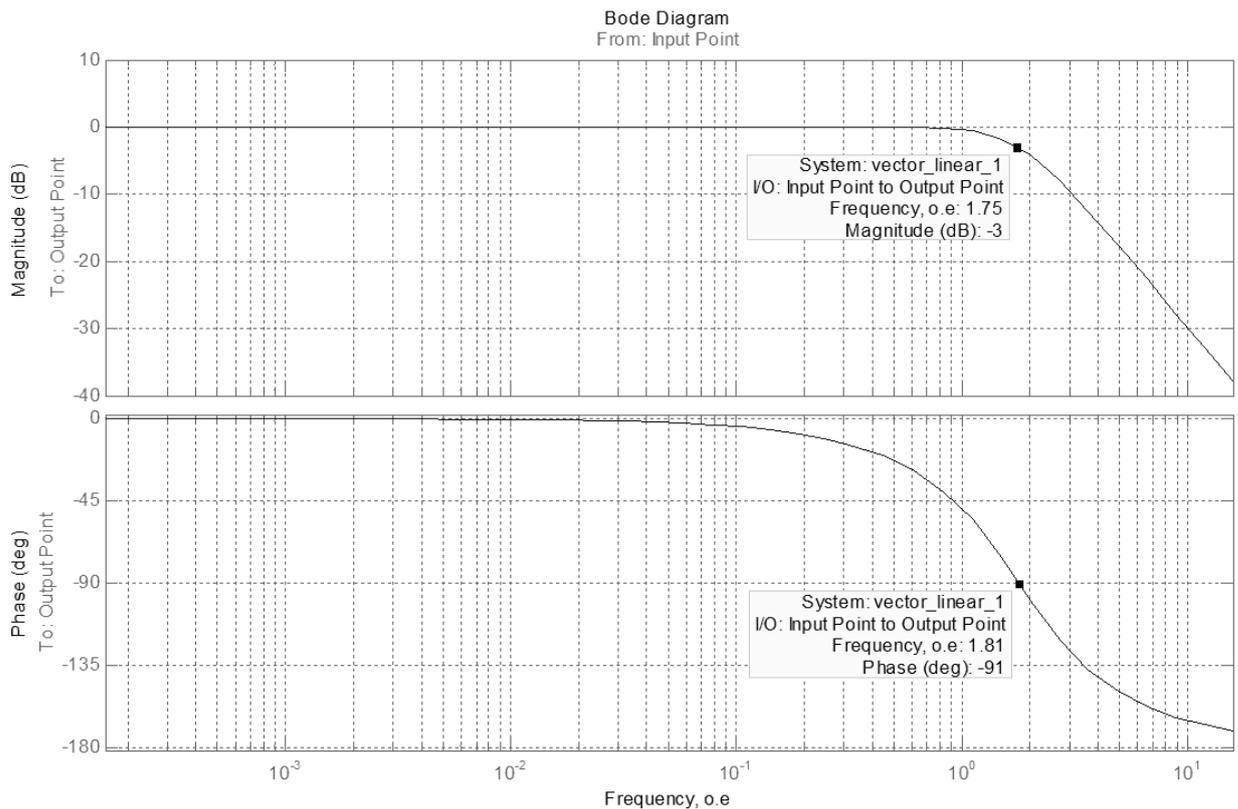


Рисунок 19 – ЛАЧХ контура тока i_{sx}

Полоса пропускания по модулю $f_n^{(M)} i_{sx} = 1,75$.

В абсолютных единицах

$$F_n^{(M)} i_{sx} = f_n^{(M)} \cdot t_{\delta} = 1,75 \cdot 314,15 = 549,779 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе $f_n^{(\phi)} i_{sx} = 1,79$.

В абсолютных единицах

$$F_n^{(\phi)} i_{sx} = f_n^{(\phi)} \cdot t_{\delta} = 1,79 \cdot 314,15 = 562,35 \text{ Гц}.$$

4.1.2 Контур тока i_{sy}

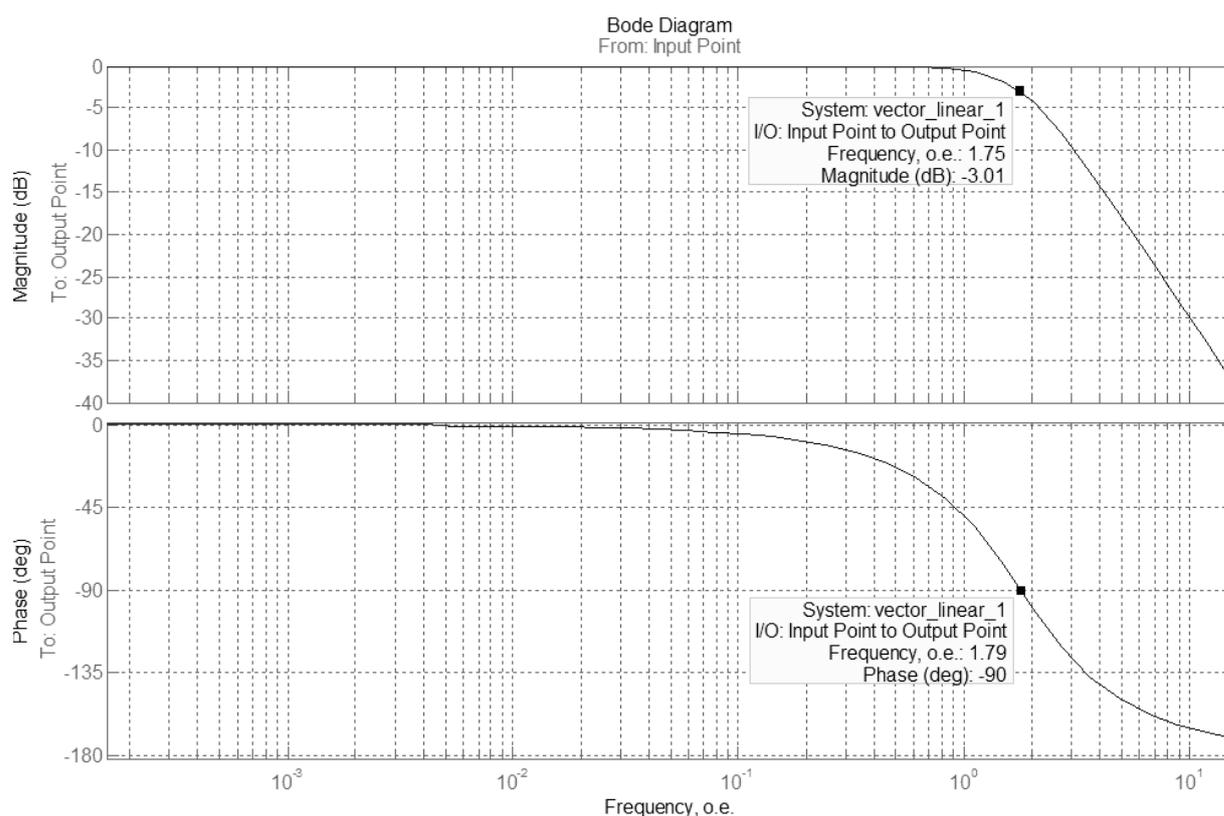


Рисунок 20 – ЛАЧХ контура тока i_{sy}

Полоса пропускания по модулю $f_{n i_{sy}}^{(M)} = 1,75$.

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sy}}^{(M)} = f_{n i_{sy}}^{(M)} \cdot t_{\delta} = 1,75 \cdot 314,15 = 549,779 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе $f_{n i_{sy}}^{(\phi)} = 1,79$.

В абсолютных единицах

$$F_{n i_{sy}}^{(\phi)} = f_{n i_{sy}}^{(\phi)} \cdot t_{\delta} = 1,79 \cdot 314,15 = 562,35 \text{ Гц}.$$

4.1.3 Контур потокосцепления

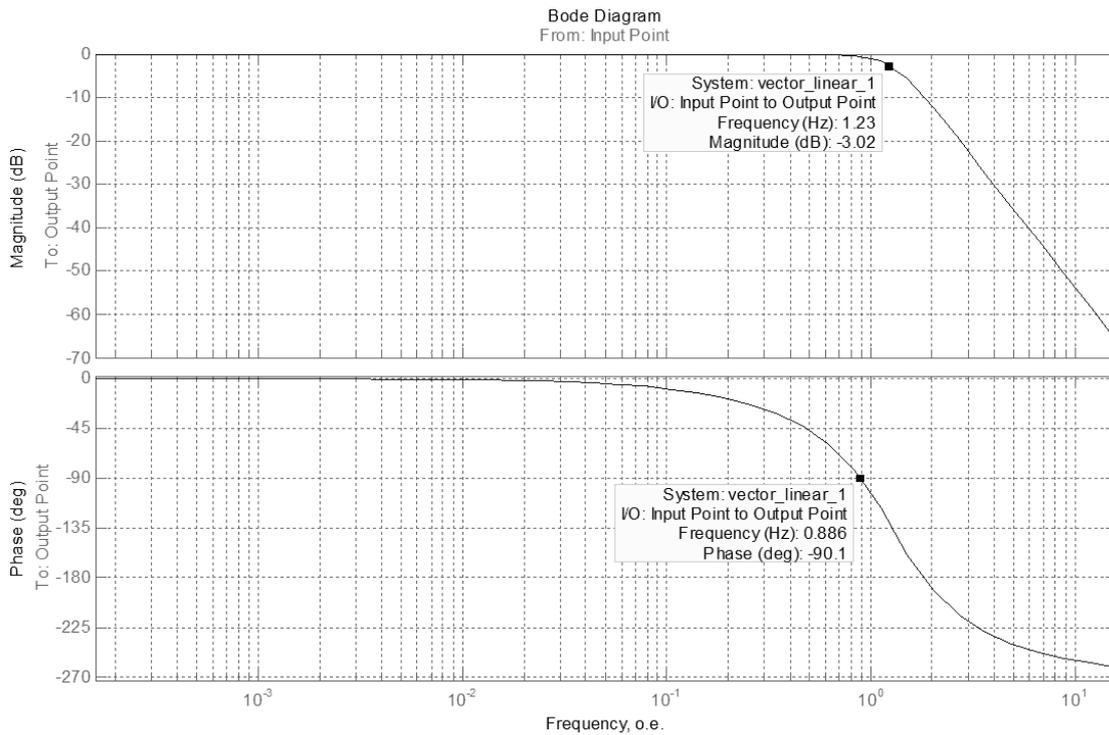


Рисунок 21 – ЛАЧХ контура потокосцепления

Полоса пропускания по модулю $f_{n\psi}^{(M)} = 1,23$.

В абсолютных единицах

$$F_{n\psi}^{(M)} = f_{n\psi}^{(M)} \cdot t_{\delta} = 1,23 \cdot 314,15 = 386,41 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе $f_{n\psi}^{(\phi)} = 0,886$.

В абсолютных единицах

$$F_{n\psi}^{(\phi)} = f_{n\psi}^{(\phi)} \cdot t_{\delta} = 0,886 \cdot 314,15 = 278,35 \text{ Гц}.$$

4.1.4 Контур скорости

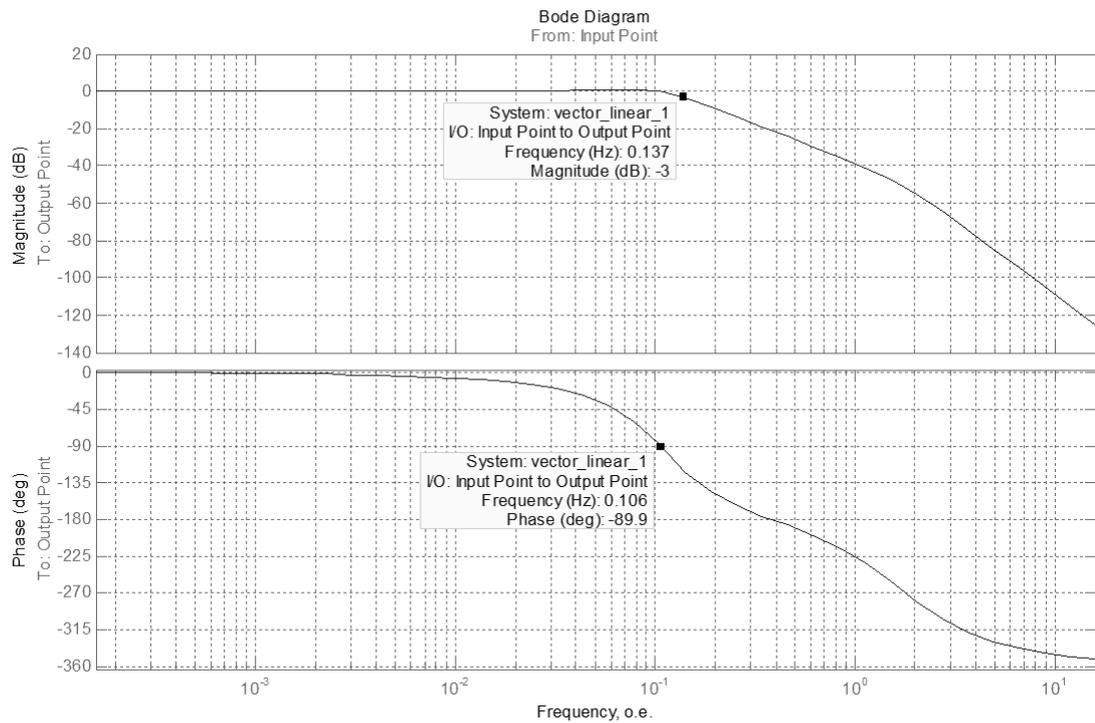


Рисунок 22 – ЛАЧХ контура скорости

Полоса пропускания по модулю $f_{n \omega}^{(M)} = 0,137$.

В абсолютных единицах

$$F_{n \omega}^{(M)} = f_{n \omega}^{(M)} \cdot t_{\delta} = 0,137 \cdot 314,15 = 43,04 \text{ Гц}.$$

Полоса пропускания по фазе $f_{n \omega}^{(\phi)} = 0,107$.

В абсолютных единицах

$$F_{n \omega}^{(\phi)} = f_{n \omega}^{(\phi)} \cdot t_{\delta} = 0,107 \cdot 314,15 = 33,62 \text{ Гц}.$$

4.2 Переходные процессы

4.2.1 Переходный процесс контура тока i_{sx}

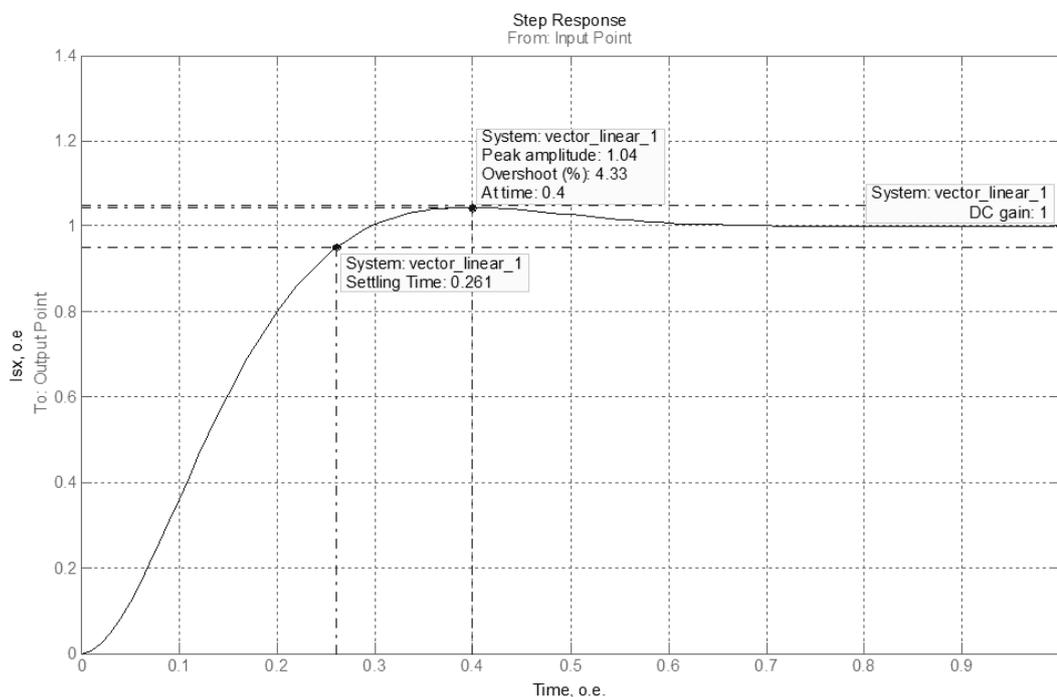


Рисунок 23 – Переходный процесс контура тока i_{sx}

Перерегулирование: $\sigma^{\omega} = 4,33\%$.

Время переходного процесса: $t_{nn} = 0,261$.

В абсолютных единицах

$$T_{nn} = t_{nn} \cdot t_{\delta} = 0,261 / 314,15 = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Установившееся значение: $I_{sx_{уст}} = 1$.

4.2.2 Переходный процесс контура тока i_{sy}

Перерегулирование: $\sigma^{\omega} = 4,4\%$.

Время переходного процесса: $t_{nn} = 0,261$.

В абсолютных единицах

$$T_{nn} = t_{nn} \cdot t_{\delta} = 0,261 / 314,15 = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Установившееся значение: $I_{sx_{ycm}} = 0,999$.

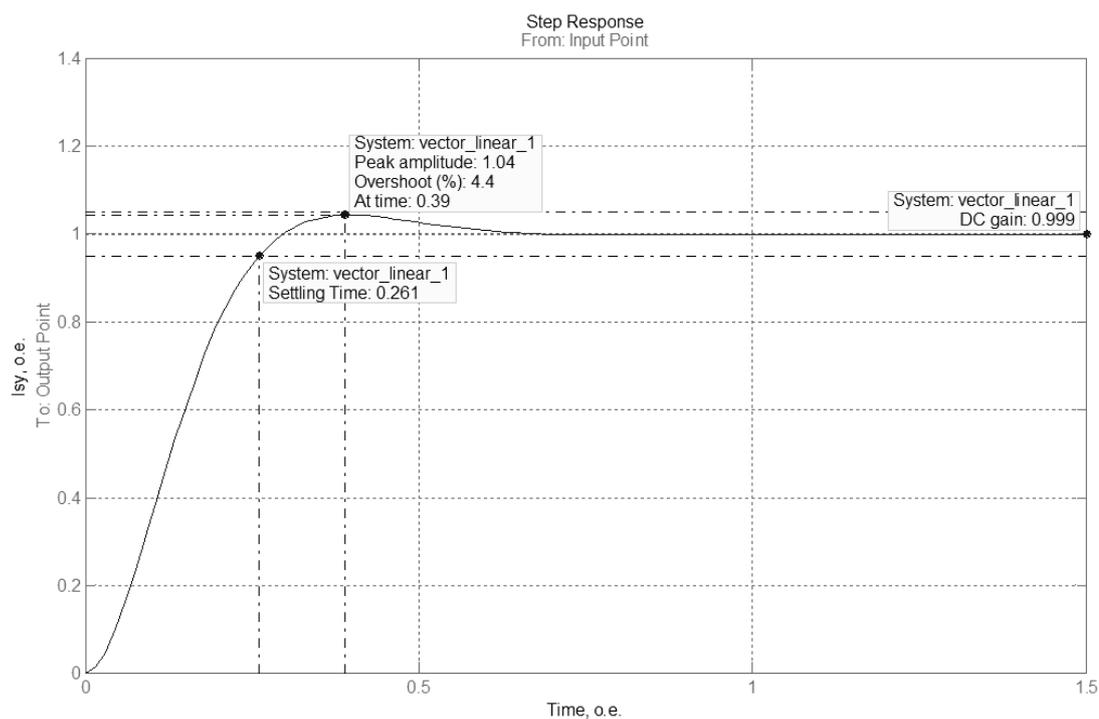


Рисунок 23 – Переходный процесс контура тока i_{sy}

4.2.3 Переходный процесс контура потокосцепления

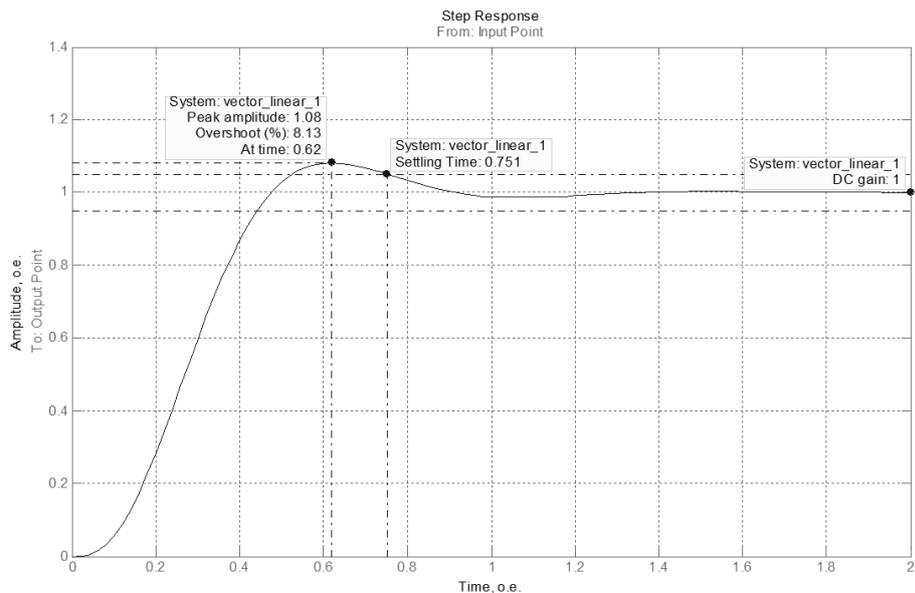


Рисунок 24 – Переходный процесс контура потокосцепления
Перерегулирование: $\sigma^{\omega} = 8,13\%$.

Время переходного процесса: $t_{nn} = 0,751$.

В абсолютных единицах

$$T_{nn} = t_{nn} \cdot t_{\sigma} = 0,751 / 314,15 = 2.39 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Установившееся значение: $I_{sx_{уст}} = 1$.

4.2.4 Переходный процесс контура скорости

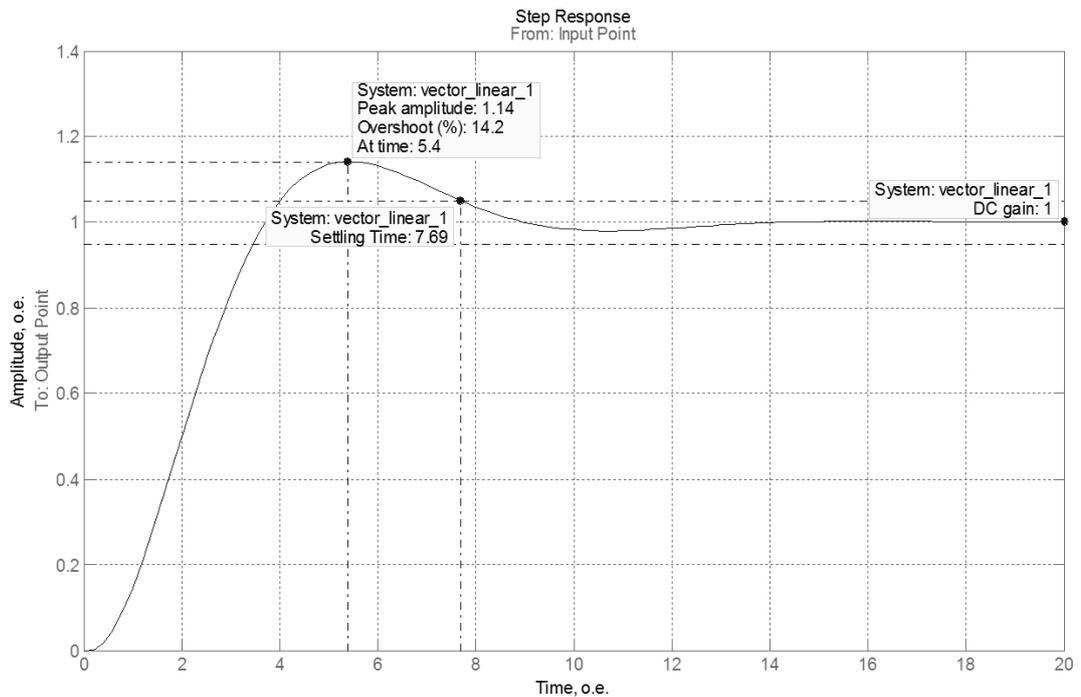


Рисунок 25 – Переходный процесс контура скорости

Перерегулирование: $\sigma^{\omega} = 14,2\%$.

Время переходного процесса: $t_{mn} = 7,69$.

В абсолютных единицах

$$T_{mn} = t_{mn} \cdot t_{\sigma} = 7,69 / 314,15 = 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ с.}$$

Установившееся значение: $I_{sx_{уст}} = 1$.

Анализ полученных данных показывает, что в целом система обладает рассчитанными показателями качества.

Некоторое несоответствие ожидаемым параметрам объясняется следующими причинами:

- при расчёте регуляторов не учитывалась обратная связь по ЭДС, а при моделировании учитывалась;

- не учитывалась инерционность преобразователя и системы управления в целом.

4.3 Исследование нелинейной системы

В отличие от линейной системы, нелинейная система имеет ограничение токов и момента и регуляторы входят в насыщение. Нелинейную систему также будем исследовать с помощью пакета MATLAB.

Введём ограничение по току на уровне $2I_n$. По напряжению на уровне U_n . Это нужно для того, чтобы напряжение на двигателе не превышало номинального и изоляция не пострадала.

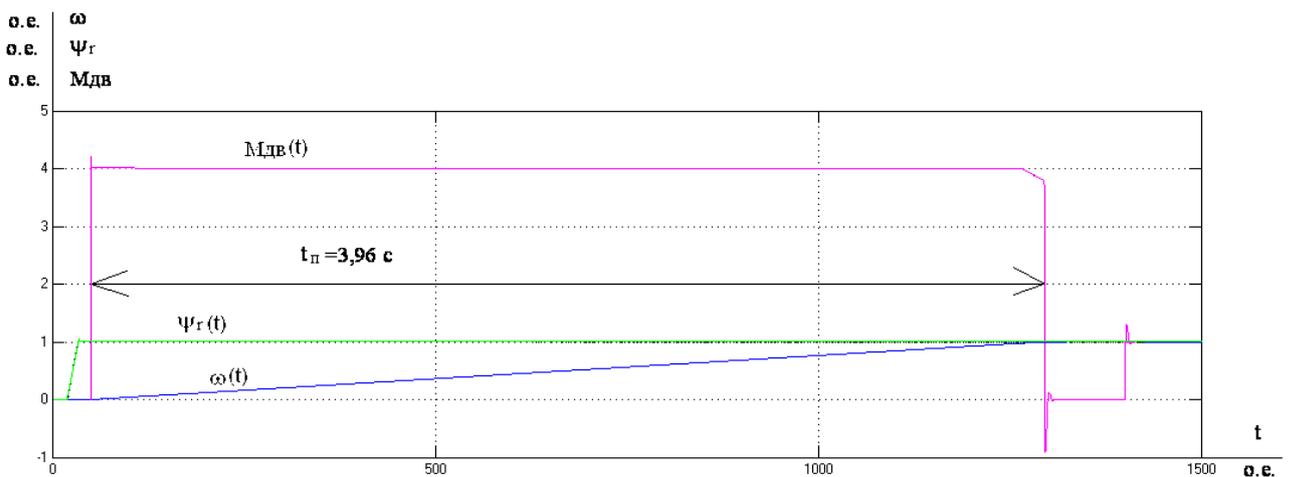


Рисунок 26 – Переходные процессы пуска без нагрузки и наброс нагрузки

Время разгона двигателя $t_n = 3,69$ с.

Момент двигателя $M_{дв} = 4M_n$.

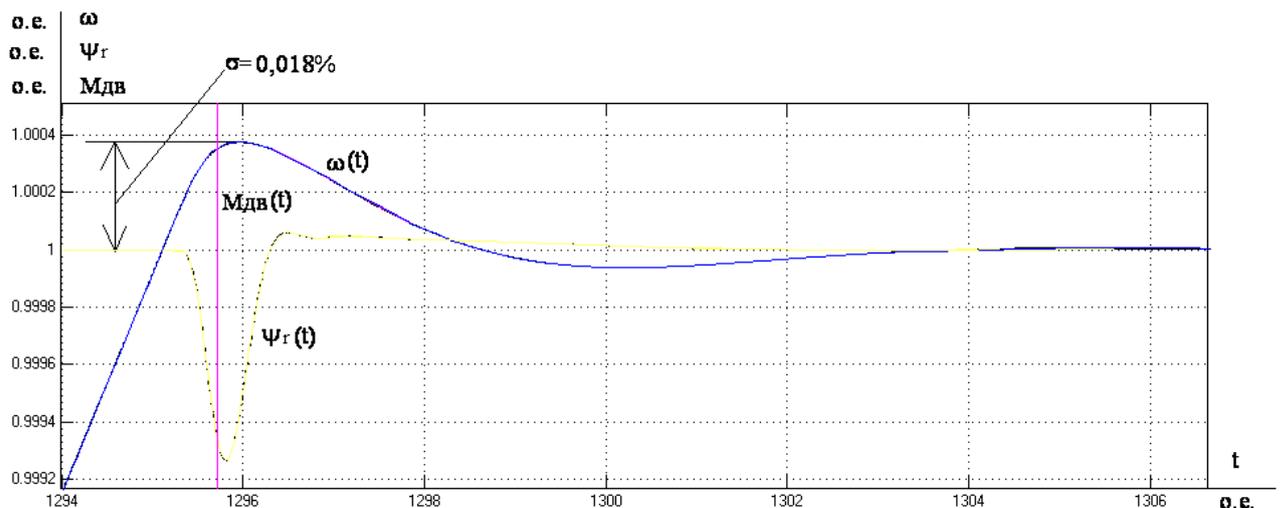


Рисунок 27 – Увеличенный переходный процесс пуска без нагрузки

Из рисунка 27 видно, что перерегулирование в нелинеаризованной системе намного меньше, чем в линеаризованной и составляет $\sigma=0,018\%$.

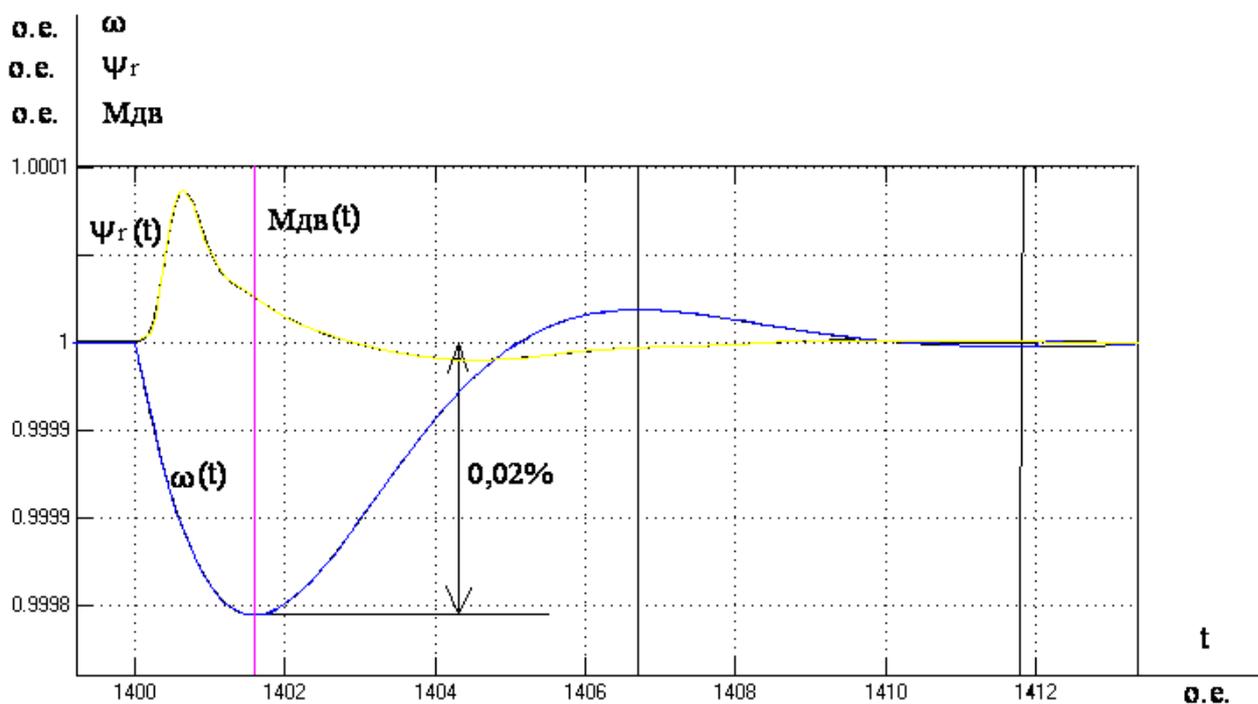


Рисунок 28 – Увеличенный переходный процесс наброса нагрузки

Провал скорости при набросе нагрузки составляет 0,02%, затем скорость опять выходит на заданную.

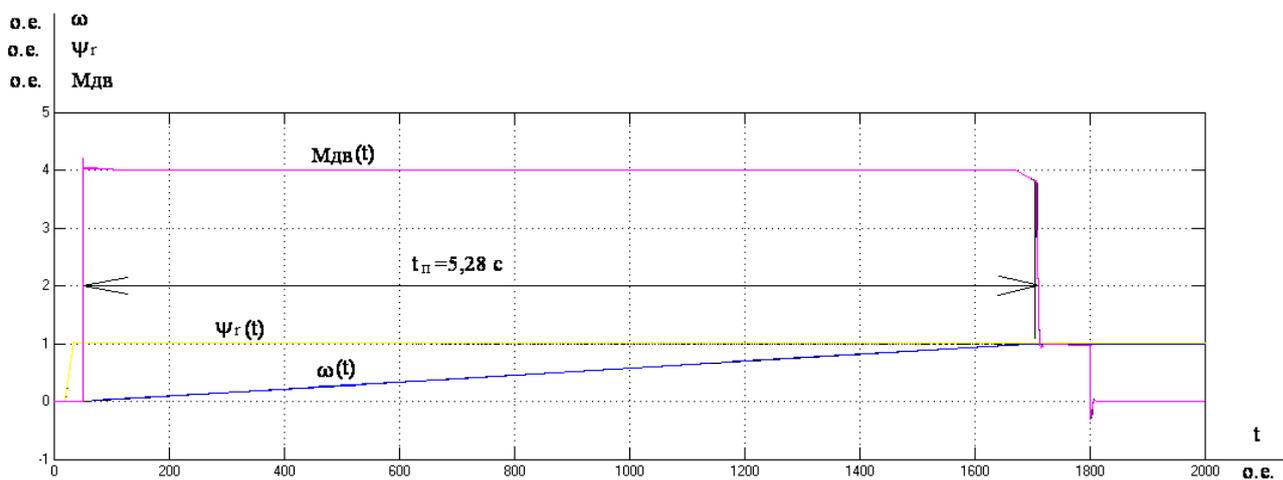


Рисунок 29 – Переходные процессы пуска на нагрузку и сброс нагрузки

Время пуска на нагрузку больше чем время пуска без нагрузки и составляет $t_{п}=5,28$ с.

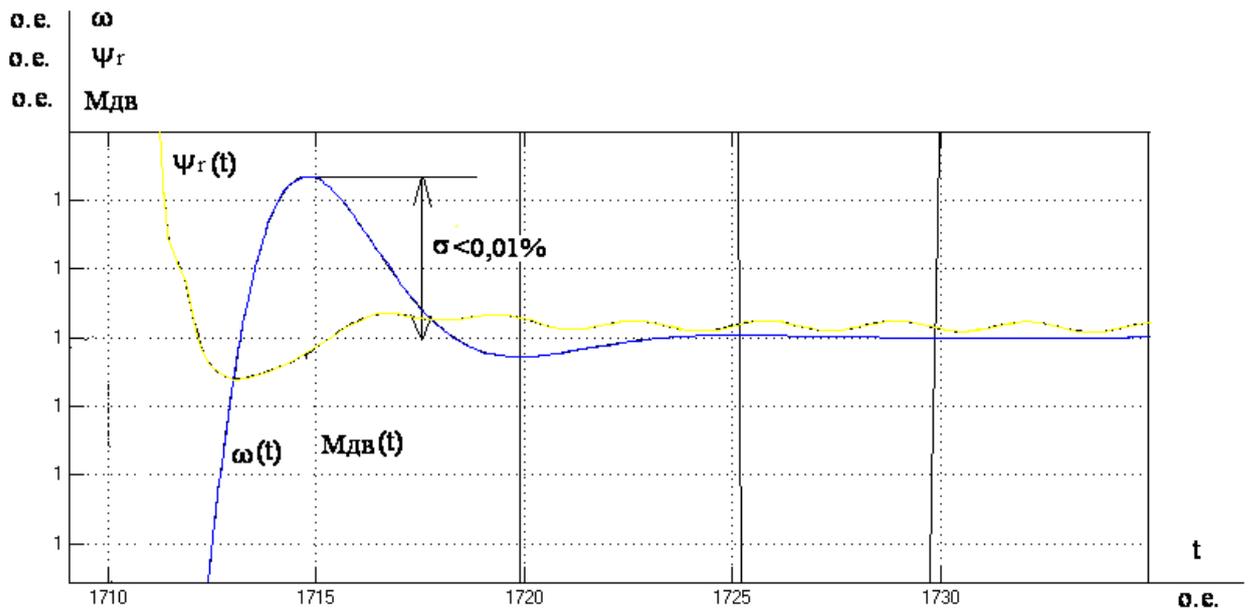


Рисунок 30 – Увеличенный переходный процесс пуска с нагрузкой

В программе MATLAB установлена точность 0,0001, поэтому перерегулирование точно определить не возможно и она составляет менее 0,01%.

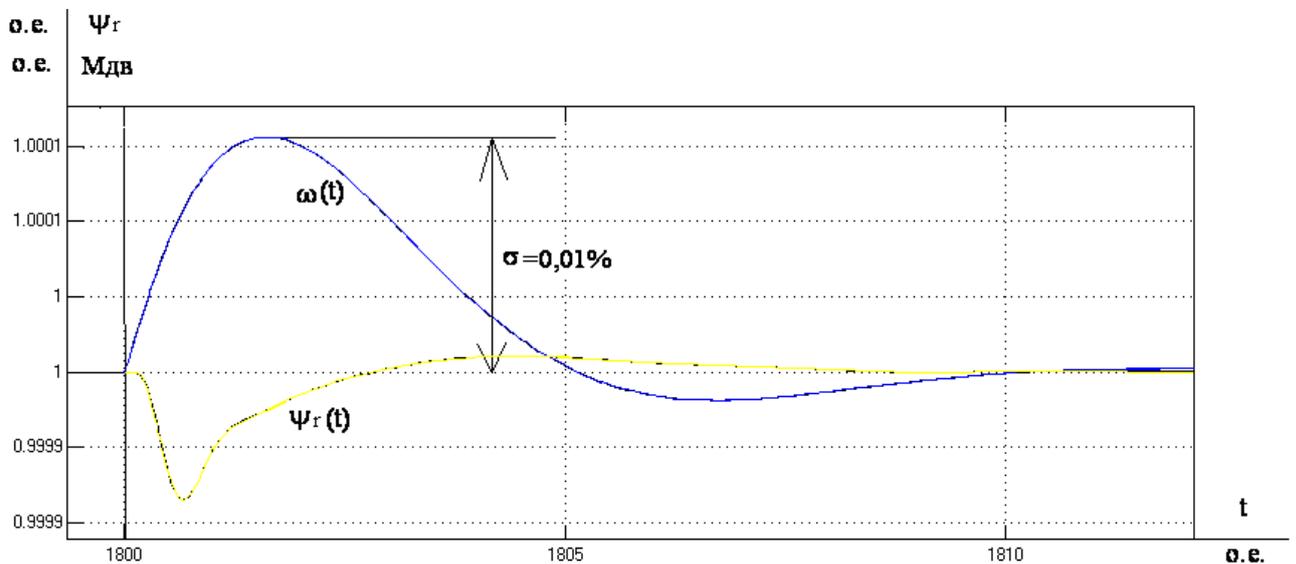


Рисунок 31 – Увеличенный переходный процесс сброса нагрузки

Скачок скорости сбросе нагрузки составляет 0,01%. Затем скорость выходит на установившееся значение.

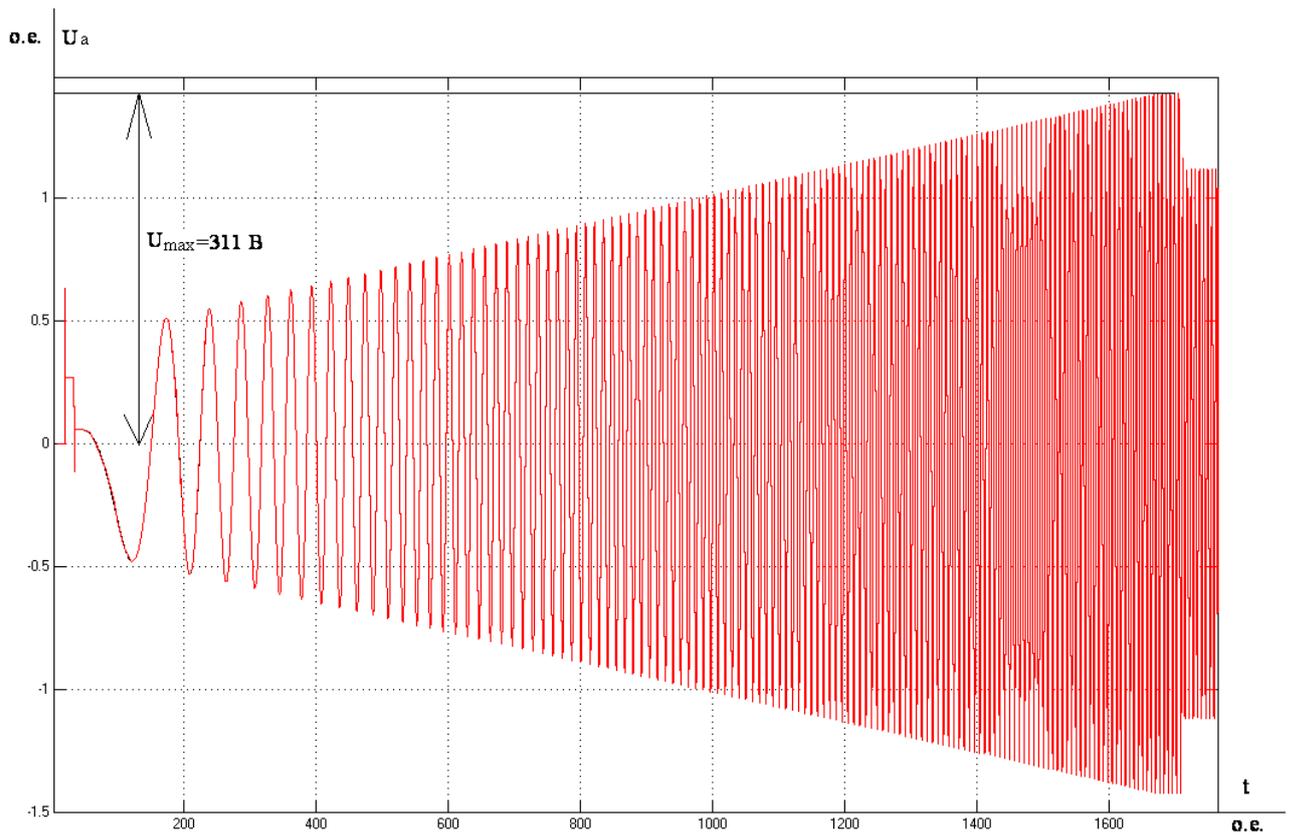


Рисунок 32 – Переходный процесс напряжения двигателя U_a

Максимальное амплитудное значение напряжение не превышает номинального значения амплитудного напряжения двигателя.

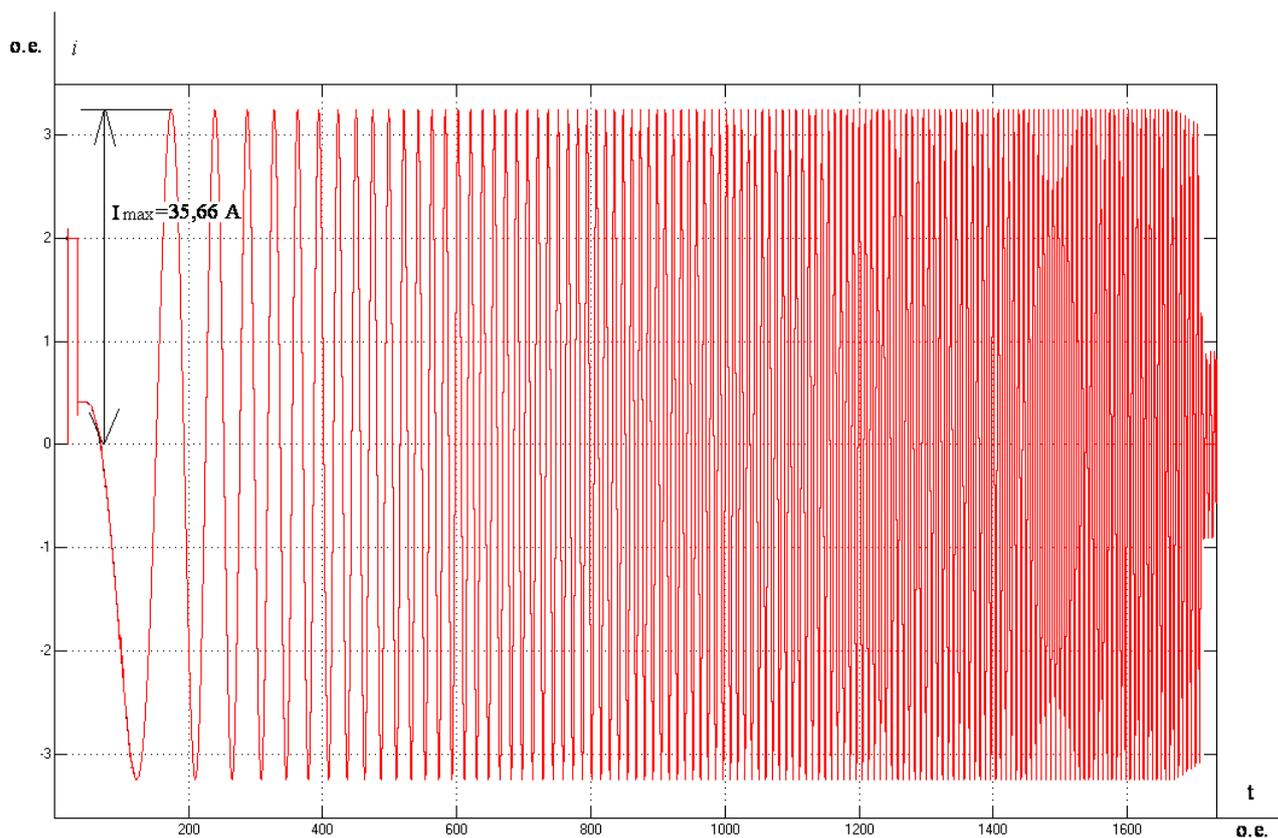


Рисунок 33 – Переходный процесс тока двигателя i_a

Максимальное значение тока статора при пуске не превышает $2,3I_n$, при том , что максимальный допустимый пусковой ток для данного двигателя $I_{п}=6,5I_n$. При этом момент двигателя $M_{дв}=4M_n$. В этом особенность и преимущество векторного управления двигателем.

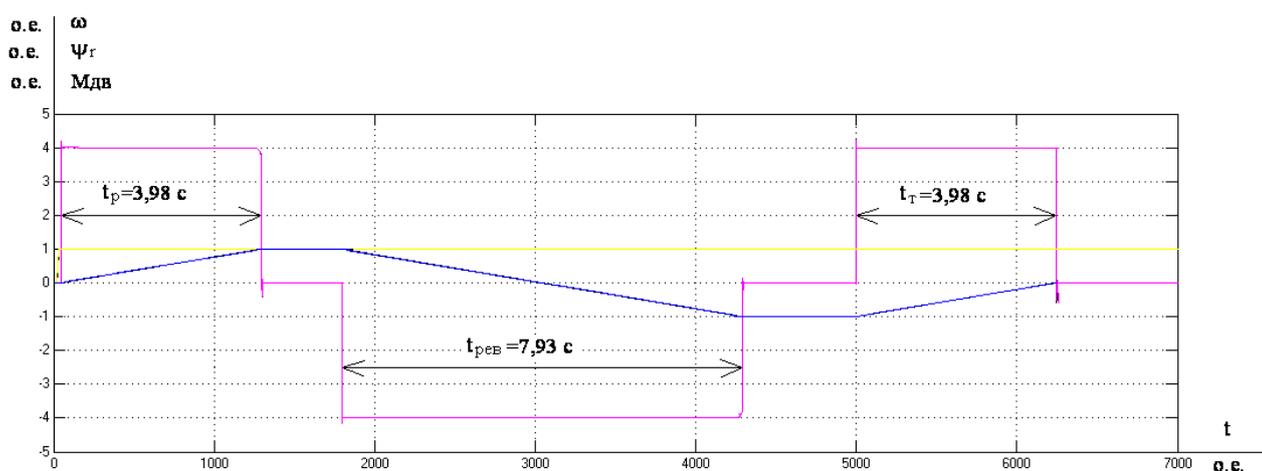


Рисунок 34 – Цикл работы привода пуск на максимальную скорость без нагрузки, реверс, торможение

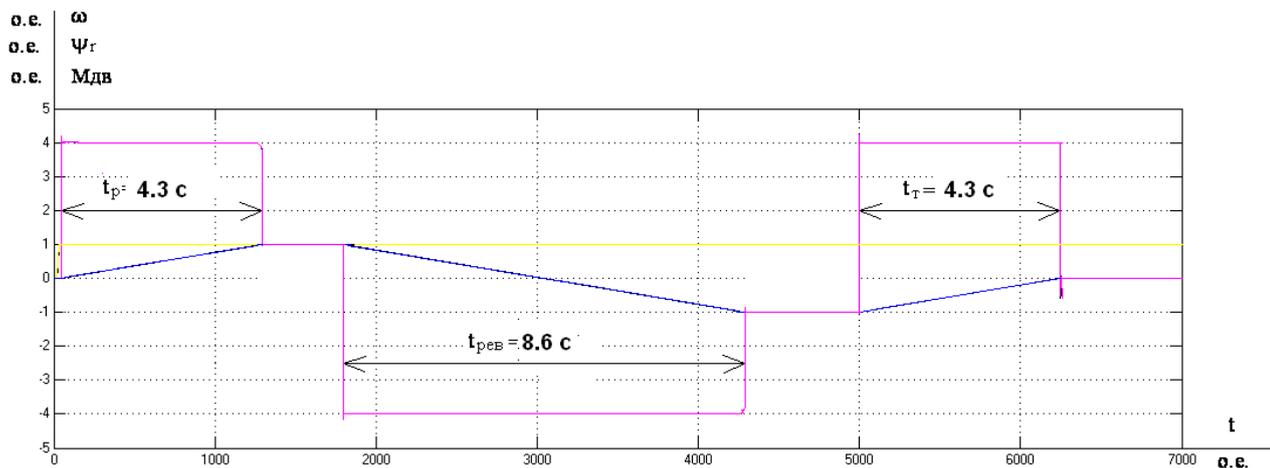


Рисунок 35 – Цикл работы привода пуск на максимальную скорость с нагрузкой, реверс, торможение

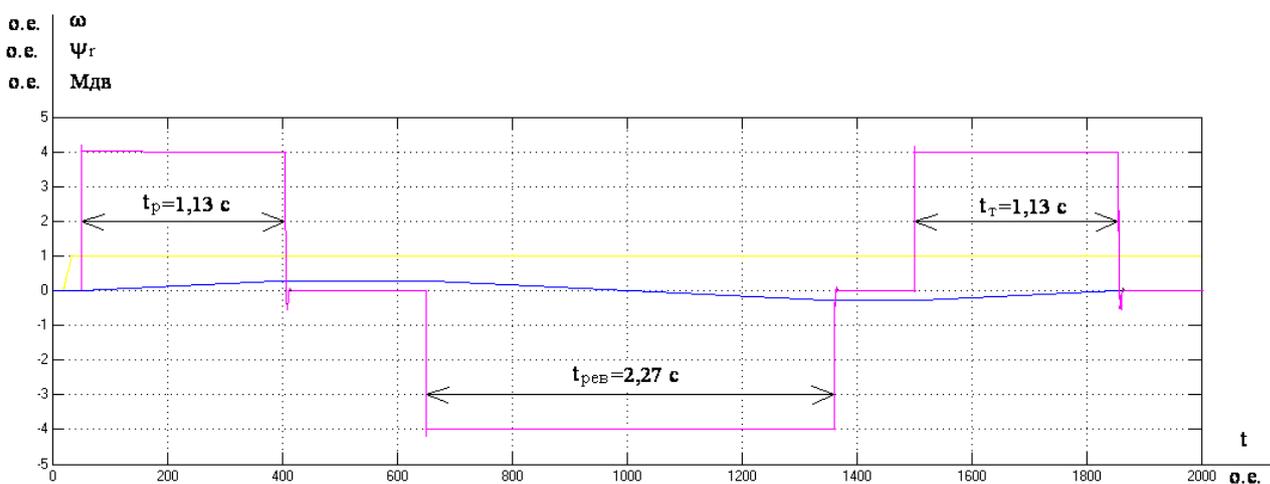


Рисунок 36 – Цикл работы привода пуск на минимальную скорость без нагрузки, реверс, торможение

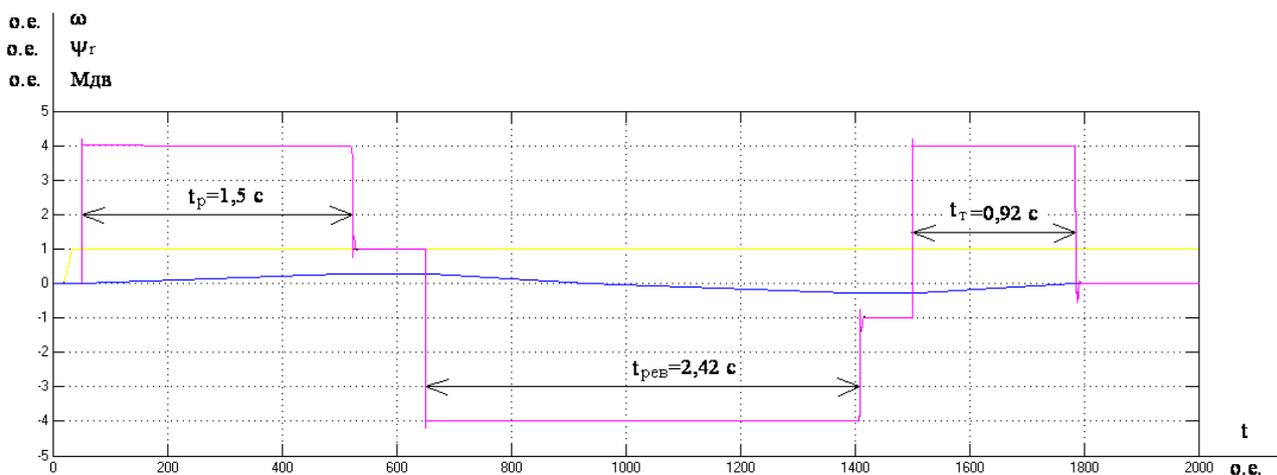


Рисунок 35 – Цикл работы привода пуск на минимальную скорость с нагрузкой, реверс, торможение

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Холбоев Бобур-Мирзо Маъруфжон угли

Институт	ЭНИН	Кафедра	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.	Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Отчисления на социальные нужды () и амортизационные отчисления.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Расчёт затрат на планирование пуско-наладочных работ
2. Расчет затрат на проведение пусконаладочных работ
3. Расчет экономии электроэнергии

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Расходы на этапе проектирования на материальные затраты.
2. Расходы на этапе проектирования на заработную плату.
3. Смета затрат.
4. Смета наличных капитальных затрат.
5. Результаты расчёта приведённых затрат.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Попова С.Н	КЭН		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Холбоев Б.М		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цели и задачи: в экономической части необходимо определить затраты на пуско-наладочные работы модернизации станции управления вращающейся печи для обжига молибденового концентрата с использованием преобразователя частоты. Рассчитать затраты на электроэнергию до и после модернизации. И определить её целесообразность.

5.1 Планирование пуско-наладочных работ

При планировании пуско-наладочных работ комплекс работ разобьём на этапы и определим в процентном соотношении время выполнения работы по каждому этапу. Результаты сведём в таблицу 3.

Таблица 3- Этапы пусконаладочных работ

Этапы пусконаладочных работ	Время выполнения, %
Организация работы	10
Подготовительные работы	20
Наладочные работы	50
Проверочные работы	5
Комплексное опробование	10
Оформление отчётной и приёмно-сдаточной документации	5
Итого	100

Весь комплекс работ разобьём на 6 этапов. За его осуществление возьмётся бригада из 4 человек в следующем составе:

1. Инженер-наладчик
2. Электромонтёр шестого разряда
3. Электромонтёр пятого разряда

4. Электромонтёр пятого разряда

В таблицу 2 сведён полный комплекс пусконаладочных работ, а также время выполнения каждого этапа.

Таблица 2 - Полный комплекс пусконаладочных работ

Наименование работ	Исполнители	Часы
1	2	3
Организация работы • Изучение технической документации, составление и разработка рекомендаций по их устранению	1,2,3	24
• Составление рабочего графика пусконаладочных работ	1,2	16
Итого		40
Подготовительные работы: • Подготовка аппаратуры и инструмента	1,2,3,4	16
• Внешний осмотр оборудования и проверка его соответствия проекту	1,2	24
• Составление рабочей программы и наладки с учётом особенностей объекта	1,2	40
Итого по		80
Наладочные работы: • Наладка преобразователя частоты электропривода переменного тока	1,2,3,4	50
• Наладка системы регулирования электроприводом	1,2,3,4	100
• Наладка аппаратов управления	1,2,3,4	25
• Наладка схемы с элементами автоматики электропривода	1,2,3,4	25
Итого		200

Продолжение таблицы 2 - Полный комплекс пусконаладочных работ

Проверочные работы: <ul style="list-style-type: none"> • Проверка правильности монтажа электрических цепей 	1,2,3,4	20
Итого		20
Комплексное опробование: <ul style="list-style-type: none"> • Испытание преобразователя на искусственную нагрузку при ручном управлении 	1,2,3,4	10
<ul style="list-style-type: none"> • Испытание электропривода на холостом ходу, опробование и корректировка работы привода при рабочей нагрузке и ручном управлении 	1,2,3,4	10
<ul style="list-style-type: none"> • Проверка режимов работы ЭП при управлении с пульта управления 	1,2,3,4	10
Итого		40
Оформление отчётной и приемосдаточной документации: <ul style="list-style-type: none"> • Составление протоколов пусконаладочных работ 	1	8
<ul style="list-style-type: none"> • Внешние изменения в принципиальной схеме 	1	12
Итого		20
Всего		400

Таким образом, пусконаладочные работы проводятся бригадой в четыре человека до 50 дней. График выполнения работ согласно данным таблицы представлен на рисунке 43.

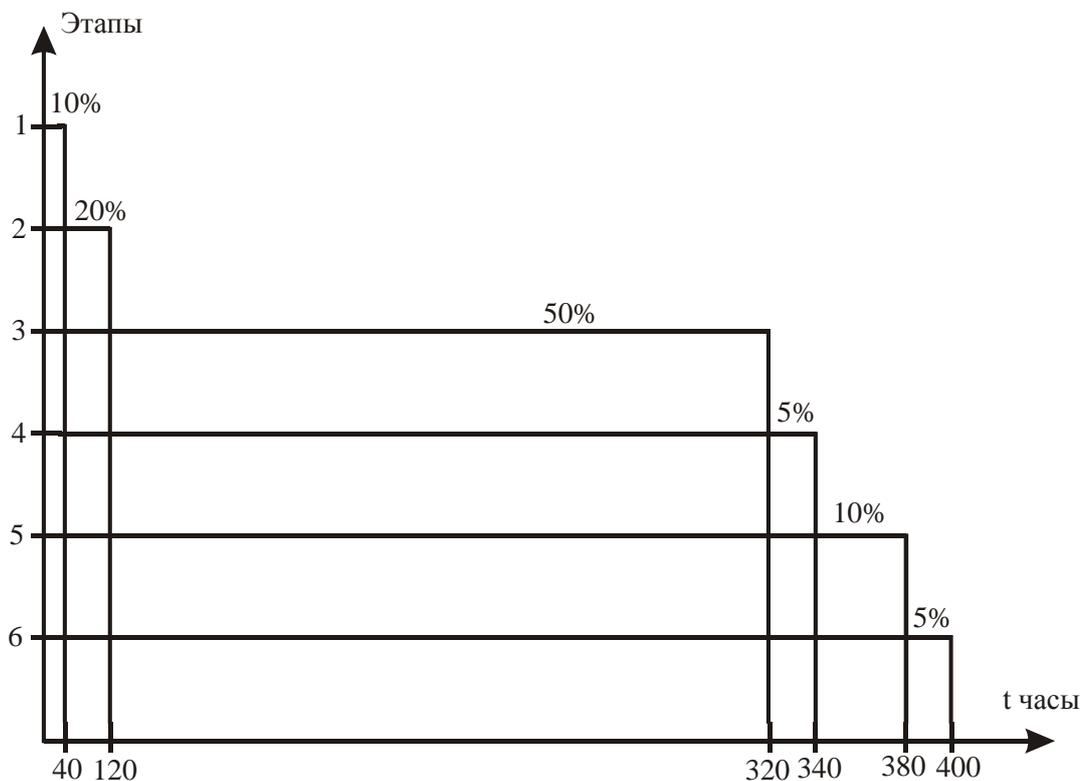


Рисунок 43 - График выполнения пусконаладочных работ

Все рабочие не занятые на данном объекте, выполняют на работы на следующем объекте.

5.2 Стоимость ПНР

Стоимость пусконаладочных работ для электропривода вращающейся печи включает в себя:

1. Стоимость комплектующих и оборудования;
2. Основную заработную плату;
3. Дополнительную заработную плату;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Накладные расходы;
6. Прочие затраты.

Стоимость комплектующих и оборудования, необходимых для проведения пусконаладочных работ, рассчитываем в таблице 3.

Таблица 3 – Стоимость комплектующих и оборудования

№ п/п	Наименование комплектующих	Единица измерения	Количество	Цена (руб)
1	Преобразователь частоты Веспер- Модель EI – 9011	шт.	1	59000
3	Коммутационная аппаратура	шт.	1	3200
4	Распределительный шкаф	шт.	1	2000
5	Монтажный кабель	метров	30	5400
Итого				23560

Цены на пусконаладочные работы содержат только основную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов, без премий.

При выполнении пусконаладочных работ в условиях, снижающих производительность труда, к заработной плате применяются следующие поправочные коэффициенты:

- выполнение пусконаладочных работ с надбавкой в размере районного коэффициента – $PK=1,7$;
- надбавка к ценам пусконаладочных работ при работающем оборудовании – $K_1=1,1$;
- надбавка к ценам пусконаладочных работ в установках находящихся под напряжением – $K_2=1,3$.

Заработная плата составит:

$$Z_{осн} = Cm \cdot t \cdot PK \cdot K_1 \cdot K_2,$$

где $Ст$ – тарифная ставка, руб.;

t – Количество отработанного времени, час.

Затраты на основную заработную плату представлены в таблице 4.

Таблица 4 –Тарифная заработная плата.

Состав бригады	Разряд	Часовая ставка, руб.	Количество отработанных часов	Заработная плата, руб.
Инженер-наладчик	6	153	122	18666
Электромонтер	6	153	102	15606
Электромонтер	5	150	96	14400
Электромонтер	5	150	80	12000
Итого				60672

Заработная плата составит:

$$Z_{осн} = 60672 \cdot 1.7 \cdot 1.1 \cdot 1.3 = 147494 \text{ руб. ,}$$

Дополнительная заработная плата производится на оплату отпусков за не проработанное время и составляет 15% от основной заработной платы:

$$Z_{доп} = 0,15 \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 147494 = 22124 \text{ руб.}$$

Отчисления в социальные фонды составляет 30,2% от основной и дополнительной заработной платы:

$$ЕСН = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot 0,3 = (147494 + 22124) \cdot 0,302 = 51225 \text{ руб}$$

Накладные расходы составляют 100% от основной заработной платы:

$$H = Z_{осн} \cdot 1 = 147494 \cdot 1 = 147494 \text{ руб.}$$

Прочие затраты составят 2% от основной заработной платы:

$$Pr = Z_{осн} \cdot 0,02 = 147494 \cdot 0,02 = 2950 \text{ руб.}$$

Сметная стоимость на проведение пусконаладочных работ асинхронного электропривода представлена в таблице 5.

Таблица 5 - Смета затрат на проведение ПНР

№ п/п	Статья затрат	Сумма, руб.	Примечание
1	Оборудование и комплектующие изделия	69600	Табл. 5
2	Основная заработная плата	147494	$Z_{осн} = Cm \cdot t \cdot PK \cdot K_1 \cdot K_2$
3	Дополнительная заработная плата	22124	$Z_{дон} = 15\% \cdot Z_{осн}$
4	Отчисления во внебюджетные фонды	51225	$ЕСН = (Z_{осн} + Z_{дон}) \cdot 0,302$
5	Накладные расходы	147494	$H = 100\% \cdot Z_{осн}$
6	Прочие расходы	2950	$Pr = 2\% \cdot Z_{осн}$
7	Итого	389662	

5.3 Расчет экономии электроэнергии

Для расчета потенциального энергосбережения следует рассмотреть фактический график нагрузки электропривода вращающейся печи. На рис. 44 показан типичный график нагрузки электропривода вращающейся печи.

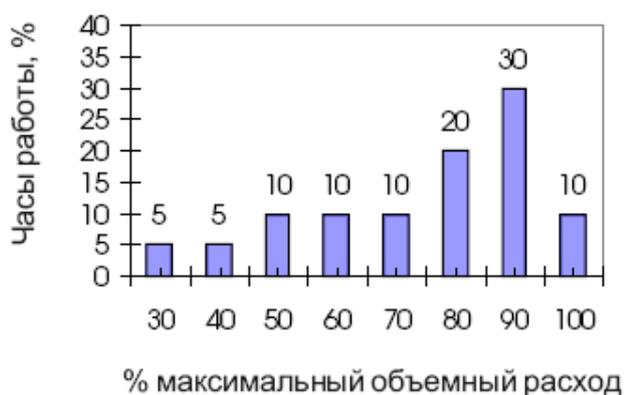


Рисунок 44 – График нагрузки электропривода вращающейся печи

Произведем расчет печи мощностью 5.5 кВт:

1) электропривод печи со станцией управления без преобразователя частоты:

$$E = P_j \cdot N_{qi} = 5 \cdot 438 = 2190 \text{ кВт} \cdot \text{год} - \text{энергия, потребляемая двигателем за год};$$

P_j - мощность двигателя при j-ой скорости вращения;

N_{qi} - количество часов работы двигателя при i-ом расходе жидкости;

2) электропривод печи со станцией управления с преобразователем частоты (Модель EI – 9011). Преобразователь частоты обеспечивает регулирование вращающейся печи в режиме оптимального энергопотребления.

Данные для двух вариантов управления печью сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Потребляемая мощность механизма вращающейся печи

Расход, %	Часы, %	Часы работы	Потребляемая мощность, кВт		Потребление энергии вращающейся печи, 5.5 кВт	
			Станция управления без преобразователя частоты	Станция управления с преобразователем частоты Модель EI – 9011	Станция управления без преобразователя частоты	Станция управления с преобразователем частоты Модель EI – 9011
30	5	438	16,331	3,311	7153,3	1451,1
40	5	438	16,492	4,256	7224,7	1864,1
50	10	876	16,821	5,607	14733	4909,8
60	10	876	17,297	7,427	15153	6508,6
70	10	876	17,934	9,828	15709	8610
80	20	1752	18,732	12,978	32820	22738
90	30	2628	19,719	16,996	51819	44670
100	10	876	21,154	22,036	18529	19301
	100	8760			163141	110053

Определим стоимость затраченной электроэнергии

1) При использовании СУ без преобразователя частоты:

$$C_{т1} = Э_n * \text{Тариф} = 163141 * 3,25 = 530208 \text{ руб.};$$

2) При использовании СУ с преобразователем частоты:

$$C_{т2} = Э_n * \text{Тариф} = 110053 * 3,25 = 357672 \text{ руб.}$$

Экономия затрат на электроэнергию составляет:

$$Э_k = C_{т1} - C_{т2} = 530208 - 357672 = 172536 \text{ руб.}$$

Таким образом при использовании преобразователя частоты EI – 9011 в данном механизме расход электроэнергии снижается до 32,5% в отличии от традиционного метода использования.

С учетом расходов на приобретение и установку нового оборудования, срок окупаемости данной модернизации будет равен:

$$C_p = \frac{C_{\text{общ}}}{Э_k} = \frac{357672}{172536} = 2,07 \text{ года.}$$

Вывод: проделав вышеописанную работу можно с уверенностью сказать, что данный проект является экономически выгодным.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Группа	ФИО
3-5Г3А2	Холбоев Бобур-Мирзо Маъруфжон угли

Школа	Иженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Регулируемый электропривод вращающейся печи
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения -	Анализ вредных факторов: - шум; - вибрация; - отклонение параметров микроклимата в помещении; - Недостаточная освещенность рабочего места. Анализ опасных факторов: - Поражение электрическим током; - Механические травмы.
2. Экологическая безопасность: -	Анализ воздействия на литосферу: образование отходов и методы их утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: -	Разработка мер по предупреждению ЧС и действий при ее возникновении, а также ликвидации для следующей ЧС: - Пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: -	Анализ организационных мероприятий при компоновке рабочей зоны

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Мезенцева И.Л.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г3А2	Холбоев Бобур-Мирзо Маъруфжон угли		

6 Безопасность и экологичность проекта

Целью данного раздела является анализ вредных и опасных факторов при наладке и эксплуатации вращающейся печи для обжига молебденового концентрата с асинхронным электродвигателем, мероприятий по устранению вредных и опасных факторов, санитарно-гигиенических норм, обеспечивающих безопасную работу при монтаже и эксплуатации, а также разработка противопожарных, профилактических и организационных мероприятий.

Главное в решении проблемы безопасности труда – забота о человеке, но немаловажное значение имеет устранение и экономических потерь, вызываемых травматизмом и профессиональными заболеваниями. Улучшение условий труда и обеспечение безопасности производимых работ способствует производительности труда. Работы, производимые при монтаже и наладке электропривода, непосредственно связаны с применением электроэнергии.

Питание осуществляется от трёхфазной сети переменного тока и напряжением 380 В. Поэтому при наладке установки появляется опасность поражения электрическим током.

При работе вращающейся печи в автоматическом режиме появляется опасность получения травм от вращающегося барабана печи. При коротких замыканиях и при несоблюдении правил эксплуатации электроустановок появляется опасность поражения обслуживающего персонала.

6.1 Анализ вредных и опасных факторов при монтаже и наладке, а также при эксплуатации вращающейся печи

Переход напряжения на металлические части электроустановок происходит в результате повреждения изоляции или в случае касания незаизолированных токоведущих частей с корпусом, что часто является причиной производственного травматизма.

Применение электроэнергии вызывает следующие опасности:

- Поражение электрическим током людей;

- Пожары установок и помещений;
- Травмы от вращающихся частей механизмов;

Часто при монтаже и наладке электропривода необходимо пользоваться для перемещения сборных единиц грузоподъемными механизмами, что обуславливает следующие опасности:

- Возможность наезда перемещаемого груза на объекты оборудования;
- Случайное падение перемещаемого груза, например, при неправильной его зацепке;

Но, так как электропривод насыщен всевозможными электроустановками, то основной опасностью остаётся поражение электрическим током.

Работающие в электромеханическом цехе могут подвергаться воздействию вредных производственных факторов. Таких как:

- Шум от работы вращающейся печи;
- Вибрация;
- Отклонение параметров микроклимата в помещении;
- Недостаточная освещенность рабочего места.

Для предупреждения этих опасностей следует заземлять металлические части электроустановок, и использовать устройства автоматического защитного отключения их в аварийных режимах.

6.2 Техника безопасности

Меры безопасности при эксплуатации вращающейся печи

Помещение цеха согласно ПУЭ относится к помещениям с повышенной опасностью (температура окружающего воздуха больше 35 °С)

К работе по наладке, обучению и управлению переменным электроприводом вращающейся печи допускаются лица со специальной подготовкой: знающие техническое описание и руководство по эксплуатации приводов переменного тока и числового программного управления. Обучение работающих безопасности труда должно проводиться в соответствии с

требованиями ГОСТ 12.0.004-79; медосмотры при поступлении на работу, группа по электробезопасности.

- Перед началом работы оператор должен устранить все неполадки, убедиться в исправном состоянии основного и вспомогательного технологического оборудования и средств обеспечения безопасности.

Меры безопасности при монтаже и ремонте вращающейся печи

- Прежде чем приступить к монтажным и ремонтным работам, необходимо отключить напряжение;
- Запрещается выполнять работы по присоединению и отсоединению захватных устройств без снятия питания с вращающейся печи.
- Коллективные и индивидуальные средства защиты от электропоражений, защитные заземления
- Защита от вращающихся частей оборудования (кожуха)
- Индивидуальные средства защиты.
- Правила работы с грузоподъемными механизмами.

6.3 Расчет защитного заземления

Заземление направлено против опасности поражения человека электрическим током. Заземление механизмов, машин, аппаратов, электроустановок на корпусе которых по ряду причин возможно появление потенциала, производится путём их электрического соединения с землёй. Система заземления состоит из заземлителей – металлических предметов, углублённых в землю, заземляющих проводников и заземляющей магистрали. Заземлители могут быть естественными и искусственными. Под естественными заземлителями понимаются металлические предметы, которые имеют заземлённый контакт. Это могут быть водопроводные трубы, металлические конструкции зданий и сооружений, имеющие наземные соединения с землёй.

Вращающейся печь работает с напряжением 380/220В. Для данной схемы питания заземляющее устройство должно иметь сопротивление не более 4 Ом. В качестве проводов заземлителей принимают трубы диаметром 45 мм и

длиной 3 м, а в качестве полос, соединяющих трубы полосовую сталь сечением 48 × 4 мм.

Заземлители размещаются в один ряд, трубчатые заземлители устанавливаем на глубине 800 мм от верхнего конца трубы, а расстояние между трубами равно двойной длине трубы, т. е. 6 м. Верхние концы заземлителей соединены полосовой сталью сваркой.

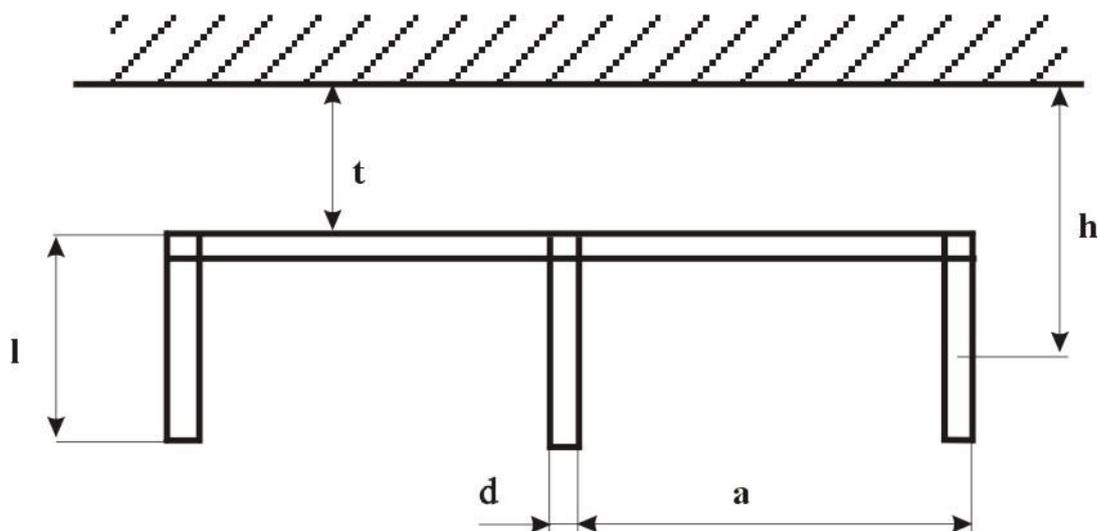


Рисунок 45 - Схема установки защитного заземления

$$l = 3000 \text{ [мм];}$$

$$d = 45 \text{ [мм];}$$

$$S = 48 \times 4 \text{ [мм}^2\text{];}$$

$$a = 6000 \text{ [мм];}$$

$$t = 8000 \text{ [мм];}$$

$$h = 2300 \text{ [мм];}$$

Учитывая возможность промерзания грунта округляем расчетные значения $\rho_{\text{э}}$ и $\rho_{\text{п}}$.

$$\rho_{\text{э}} = \rho_{\text{Т}} \cdot K_{\text{э}} = 10^4 \cdot 1.9 = 1.9 \cdot 10^4, \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{Т}} \cdot K_{\text{п}} = 10^4 \cdot 4.5 = 4.5 \cdot 10^4, \text{ Ом} \cdot \text{см},$$

где K – коэффициент, учитывающий изменение удельного сопротивления грунта в различные периоды года, коэффициенты $K_{\text{э}}$ и $K_{\text{п}}$ берем из таблицы 5 [16].

$\rho_{\text{п}}$ – удельное сопротивление грунта для полосы;

$\rho_{\text{э}}$ – удельное сопротивление грунта для электрода;

$\rho_{\text{Т}}$ – удельное сопротивление грунта (таблица 4 [9]); $\rho_{\text{Т}} = 1 \cdot 10^4, \text{ Ом} \cdot \text{см}$

Определим величину сопротивления растеканию одного заземлителя

$$R_{\text{э}} = \frac{\rho_{\text{э}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right)$$

$$R_{\text{э}} = \frac{1.9 \cdot 10^4}{2 \cdot 3.14 \cdot 300} \left(\ln \frac{2 \cdot 300}{4.5} + 0.5 \ln \frac{4 \cdot 230 + 300}{4 \cdot 230 - 300} \right)$$

$$R_{\text{э}} = 53.5, \text{ Ом}$$

Определим предварительно потребное число заземлителей

$$n = \frac{R_{\text{э}}}{r_{\text{р}}} = \frac{53.5}{4} = 13.4, \text{ шт}$$

$$n^* = \frac{n}{\eta_{\text{э}}} = \frac{13.4}{0.7} = 19.14$$

Учитывая, что трубы соединены полосой, которая тоже выполняет роль заземлителя, принимаем $n = 20$, шт.

Определяем длину полосы

$$l_n = 1.05a(n-1) = 1.05 \cdot 6 \cdot (20-1) = 119.7, \text{ м}$$

сопротивление соединительной полосы

$$R = \frac{\rho_r}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{t \cdot b} = \frac{45 \cdot 10^4}{6.28 \cdot 11970} \ln \frac{2 \cdot 11970^2}{800 \cdot 4} = 68, \text{ Ом}$$

Определим результирующее сопротивление растекания полосы с учетом коэффициента использования труб и полосы.

$$(r_э=0,82; r_n=0.76)$$

$$R_c = \frac{R_э \cdot R_n}{R_э \cdot r_n + R_n \cdot r_э \cdot n_э} = \frac{53.5 \cdot 68}{53.5 \cdot 0.76 + 68 \cdot 0.82 \cdot 20} = 3.14, \text{ Ом}$$

Полученная величина сопротивления соответствует нормам.

6.4 Производственная санитария

Одним из важнейших условий полноценного труда является рациональное освещение. Источники искусственного освещения устанавливаются сзади, сверху и слева от рабочей зоны работа, а для работ по наладке и монтажу электропривода вращающейся печи светильник с лампой накаливания крепится на корпус ЧПУ. Всё это обеспечивает равномерную освещенность рабочего места.

Наиболее вредными факторами при работах в механических цехах является шум и вибрация. В результате длительного воздействия шума нарушается нормальная деятельность сердечно-сосудистой системы, развиваются профессиональные заболевания слухового аппарата. Допустимое значение шумовых характеристик при типовых условиях эксплуатации на холостом ходу и под нагрузкой устанавливается в соответствии с ГОСТ 12.1.003-83(1999) и не должно превышать эквивалентный уровень звука 80 децибел по шкале А шумомера[12].

Строительные нормы и правила [СниП II – 12 – 77] предусматривают защиту от шума строительными-акустическими методами:

- звукоизоляция ограждающих конструкций, уплотнение по периметру окон, дверей, ворот;

– звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций инженерными коммуникациями.

При работе по монтажу и наладке электропривода целесообразно применение звукоизоляционных кожухов и экранов. При монтаже и наладке привода возможно потребуются применение индивидуальных средств защиты от шума. К таковым относятся мягкие противошумные вкладыши, вставляемые в уши, из ультратонкого войлока и жесткие из резины, наушники и шлемы.

Рост мощностей и быстроходности технологического оборудования при одновременном снижении его материалоемкости, уменьшение статических нагрузок на человека, связанные с подъемом производительности, сопровождается нежелательным рабочим эффектом – усиление вибраций. Воздействие вибраций не только ухудшает самочувствие работающего и снижает производительность труда, но часто приводит к ряду тяжелых профессиональных заболеваний. Допустимое значение уровня вибрации возникающей на рабочем месте при работе робота в эксплуатационном режиме не должно превышать значений указанных в ГОСТ 12.1.012 – 78. [13]

В неавтоматизированных производствах осуществляются следующие методы снижения вибраций:

- в источнике возникновения;
- снижение их на путях распространения;
- путём соответствующей организации труда, а также применение средств индивидуальной защиты и лечебно профилактические мероприятия.

Для защиты рук от воздействия локальной вибрации применяют рукавицы и перчатки следующих видов:

- полностью изготовленные из виброзащитного материала;
- со специальными упругодемпфирующими вкладками [14].

При работе в условиях общей вибрации применяют спец. обувь [15].

Метеорологические факторы, как каждый в отдельности так и в отдельных сочетаниях оказывают большое влияние на функциональную деятельность человека его самочувствие и здоровье.

Работу в механическом цеху можно отнести к категории работ средней тяжести II б, тогда допустимые метеорологические условия:

Таблица 7 - Допустимые метеорологические условия

СанПин 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений	Холодный период	Теплый период
Температура воздуха	15-22 °С	16-27 °С
Относительная влажность	15-75 %	15-75%
Скорость воздуха	0,2-0,4 м/с	0,2-0,5 м/с

Освещенность. Произведем расчет искусственного освещения в соответствии с действующими нормативами СНиП 23-05-95.

Для равномерной освещенности рабочих поверхностей рабочего места и помещения в целом необходимо спроектировать рациональную систему освещения.

Основным источником света, как для общего, так и для комбинированного освещения, являются люминесцентные лампы. Из них наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ (белого цвета). Определим мощность ламп методом коэффициента использования. Данный метод учитывает, при определении светового потока, свет, отраженный стенами и потолком.

Определим индекс помещения i по выражению:

$$i = \frac{S}{[(A + B) \cdot h_n]}, \quad (5.1)$$

где $A = 11$ м – длина помещения;

$B = 7,5$ м – ширина помещения;

h_n – высота подвеса ламп над рабочей поверхностью.

$$h_n = h - h_c - h_p, \quad (5.2)$$

где $h = 3,5$ м – высота помещения;

$h_c = 0,5$ м – свес светильников;

$h_p = 0,8$ м – высота рабочей поверхности.

Подставим численные значения в выражения (5.1 и 5.2):

$h_n = 3,5 - 0,5 - 0,8 = 2,2$ (м);

$$i = \frac{11 \cdot 7,5}{(11 + 7,5) \cdot 2,2} = 2,02$$

Примем $i = 2$.

Наиболее выгодное отношение расстояния между светильниками к их высоте над рабочей поверхностью равно 1,6.

Найдем расстояние L_n :

$$L_n = 1,6 \cdot h_n = 1,6 \cdot 2,2 = 3,5 \text{ (м)}$$

Количество светильников в одном ряду:

$$\text{– по длине } N_{дл} = (A - L_n) / L_n + 1 = (11 - 3,5) / 3,5 + 1 \approx 3 \text{ (шт.)}$$

$$\text{– по ширине } N_{ш} = (B - L_n) / L_n + 1 = (7,5 - 3,5) / 3,5 + 1 \approx 2 \text{ (шт.)}$$

Общее число светильников в помещении:

$$N = N_{дл} \cdot N_{ш} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ (шт.)}$$

Коэффициенты отражения выбираем:

$\rho_c = 50\%$ (стены выкрашены в светлый цвет);

$\rho_p = 70\%$ (потолок выбелен в белый цвет).

Определим величину коэффициента использования η имея i , ρ_c , ρ_p

$\eta = 60\%$.

Определим поток каждой из ламп:

$$F_n = \frac{E_0 \cdot k \cdot s \cdot z}{n \cdot \eta}, \quad (5.3)$$

где – $E_0 = 200$ (Лк) – освещенность, необходимая при точечных работах,

для общего назначения;

$k = 1,5$ – коэффициент запаса, учитывающий характер среды в помещении (пыльность, загрязненность и другие) и тип источника света;

$n = 6$ – количество ламп;

$z = 1,1$ – коэффициент поправочный для определения средней освещенности.

Эскиз помещения с расстановкой светильников приведен на рисунке 46.

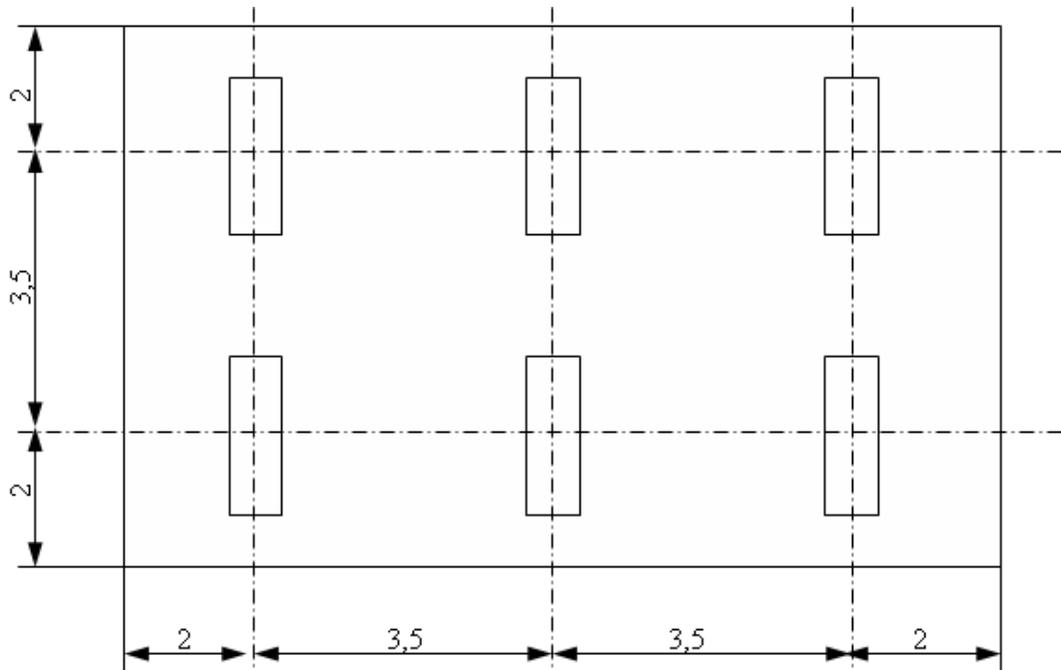


Рисунок 46 - Эскиз помещения с расстановкой светильников

Подставим эти значения в выражение 5.3

$$Fn = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 11 \cdot 7,5 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,6} = 8250 \quad (\text{Лм})$$

Исходя из требуемого потока выбираем лампу ЛБ по 80 Вт. Поток каждой лампы составляет 4320 Лм. Выбрав светильники 0.8-2-80 осуществим проверку. Общий поток светильника 0.8-2-80 определим как:

$$F2 = 2 \cdot 4320 = 8400 \quad (\text{Лм})$$

Полученный поток светильника соответствует рассчитанному потоку лампы искусственного освещения для лаборатории.

Общее освещение дополняется местным.

6.5 Охрана окружающей среды

В наше время, в связи с ростом технической оснащённости общества, возникла острая проблема охраны окружающей среды. В нашей стране охраной природы принято считать систему государственных и общественных мероприятий, обеспечивающих поддержание или восстановление природных условий.

Охрана природы является общенародной задачей, которая включает в себя множество аспектов: защита водоёмов и недр от отходов промышленных предприятий, защита атмосферы от загазованности, снижение уровней шумов, вибраций, защита от электромагнитных полей и всевозможных излучений.

Загрязнение окружающей среды угрожает не только здоровью людей и животных, оно также наносит большой ущерб народному хозяйству.

Значительное загрязнение атмосферы требует разработки мероприятий по их сокращению но и необходимо разрабатывать мероприятия для борьбы выбросами.

Промышленное производство молибдена сопровождается выделением большого количества вредных веществ поэтому технологическое оборудование снабжают аспирационными установками.

Назначение аспирационных систем создание благоприятных условий труда по содержанию вредных веществ в воздухе производственных помещений путем предотвращения выделений из неплотностей технологического оборудования. Аспирационные системы располагают в соответствии с технологической схемой производства молибдена.

В состав аспирационных систем включают сухие и мокрые пылеуловители. При выгрузке молибдена из барабана печи выделяется много пыли, поэтому обычно применяют двухступенчатую схему очистки. В качестве первой степени используют группы циклонов типа ЦН-15, имеющие достаточно высокую эффективность пылеулавливания (87—97 %)

при умеренном гидравлическом сопротивлении (0,35—1,15 кПа). На второй ступени пылеулавливания устанавливают скрубберы ЦС-ВТИ. Фактическая степень улавливания пыли в них — от 60 до 90 % и определяется в основном расходом орошающей жидкости и качеством ее распыления. Современные требования к созданию безотходного производства предусматривают обязательное замыкание систем водоснабжения, что обуславливает необходимость обеспечения надежной работы пылеуловителей на оборотной воде. При улавливании молибденовой пыли после процесса обжига основными трудностями замыкания цикла орошения мокрых пылеуловителей являются, помимо наличия абразивных твердых взвесей, изнашивающих распыливающие устройства, сильная карбонизация воды и образование в трубопроводной арматуре шламопроводов отложений в виде волокнистых и корковых карбонатных структур, забивающих трубопроводы.

Кроме трудностей, связанных с переработкой шламовых вод, серьезным препятствием в применении способа мокрого улавливания молибденовой пыли является плохая смачиваемость частиц. Очевидно, существующие способы интенсификации процесса мокрого пылеулавливания, связанные с добавлением в орошающую жидкость различных смачивающих добавок и поверхностно-активных веществ, не могут обеспечить кардинальное решение этой проблемы из-за усложнения и удорожания шламового хозяйства.

Молибденовая пыль по существующей классификации может быть, как правило, отнесена к классу крупнодисперсных. Это упрощает задачу обеспыливания аспирационного воздуха сухими методами. Крупность частиц пыли является следствием высоких скоростей отсоса воздуха из укрытий оборудования.

Поскольку конечной целью обеспыливания является обеспечение санитарных требований к качеству выбрасываемого в атмосферу воздуха,

предъявляются повышенные требования к степени очистки в системах пылеулавливания.

6.6 Пожарная безопасность

Противопожарные мероприятия

Для предупреждения пожаров необходим противопожарный режим. Этим преследуется основная цель – не допустить пожары, могущие возникнуть при:

- небрежном обращении с огнем,
- курении вне отведенных для этого мест,
- возникновении искр от плохих контактов электросистемы,
- коротких замыканиях.

Все производственные процессы в зависимости от взрывопожароопасных свойств, применяемых или производимых химических веществ, делятся по взрывной, взрывопожароопасной и пожарной опасности на пять категорий производств: А,Б,В,Г,Д.

Вращающейся печь предназначена для обжига молебденового концентрата.. Пожароопасность определяется горючими свойствами применяемых материалов[11]. В таких производствах причиной пожара может стать:

- применение открытого огня,
- нагрев до высокой температуры трущихся и вращающихся частей механизмов,
- эксплуатация неисправного оборудования,
- самовозгорание промасленной ветоши,
- неправильный выбор сечения проводников токоведущих частей,
- плохие контакты в местах соединения проводников.

Средства пожаротушения и их содержание

Согласно нормам в механических цехах предусмотрено:

(ГОСТ 12.1.004 – 76) [10]

- огнетушители ОХП –10 – 2 штуки
- огнетушители ОУ – 5 – 1 штука
- пожарный щит с инвентарём
- пожарный ящик с песком.

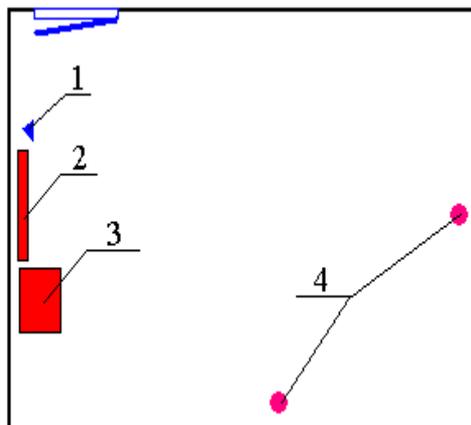


Рисунок 47 - Средства пожаротушения

- 1– огнетушитель ОУ 5
- 2– пожарный щит с инструментом
- 3– ящик с песком
- 4– огнетушитель ОХП – 10

Средства пожаротушения должны всегда находиться в чистом и исправном состоянии. Подходы к пожарному инвентарю должны быть свободными, обеспечивать свободный доступ. Не допускается использование противопожарных средств в каких либо других целях, не связанных с ликвидацией очагов возгорания.

Эвакуация

При проектировании здания необходимо предусмотреть безопасную эвакуацию людей на случай возникновения пожара. При возникновении пожара люди должны покинуть здание в течении минимального времени, которое определяется кратчайшими расстояниями от места их нахождения до выхода наружу.

В соответствии со СНИП II – 2 – 80 число эвакуационных выходов из зданий, помещений и с каждого этажа зданий определяется расчетом, но должно составлять не менее двух. Эвакуационные выходы должны распределяться равномерно. При этом лифты и другие механические средства транспортировки людей не учитываются. На случай возникновения пожара имеется план эвакуации людей и оборудования

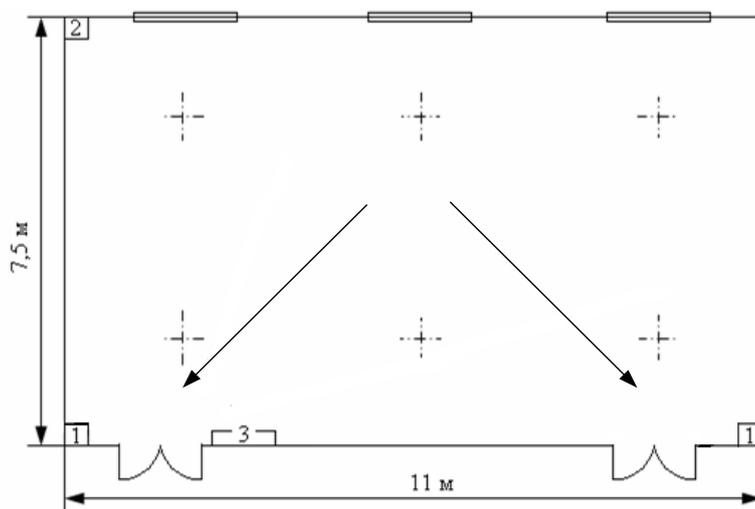


Рисунок 48 - План эвакуации людей и оборудования.

(1 и 2 - огнетушители типа ОУ-2; 3 – силовой щит)

Порядок оповещения в случае загорания.

Первый, заметивший очаг загорания, окриком предупреждает об этом всех окружающих, затем сообщает мастеру или руководителю, который лично извещает о случившемся руководство предприятия, пожарную команду, скорую помощь и приступает к ликвидации пожара силами работников.

6.7 Требования к рабочему месту

Рабочее место должно удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечить возможность удобного выполнения работ;
- учитывать физическую тяжесть работ;
- учитывать размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего;
- учитывать технологические особенности процесса выполнения работ.

Заключение

Целью данного дипломного проекта являлось проектирование и разработка электропривода вращающейся печи для обжига молибденового концентрата.

В результате выполненного проекта, спроектирован электропривод полностью отвечающий техническому заданию и всем указанным выше особенностям. Разработанный электропривод вращающейся печи для обжига молибденового концентрата полностью удовлетворяет всем техническим требованиям и особенностям технологического процесса.

В систему автоматического управления электроприводом вращающейся печи входят электродвигательная, преобразовательная, передаточная и управляющая системы, вместе представляющие сложную электромеханическую структуру.

Показатели переходных процессов, полученные с помощью численного моделирования на ЭВМ близки к показателям системы, ожидаемым при произведённых настройках контуров.

Статическая ошибка системы удовлетворяет заданной погрешности поддержания скорости при максимальной нагрузке. На холостом ходу ошибка по скорости практически равна нулю.

Электропривод вращающейся печи обеспечивает работу в длительном режиме с сильно инерционной нагрузкой; минимальное время реверсирования и достаточно широкий диапазон регулирования.

Кроме того, электропривод вращающейся снабжен системой защит и сигнализации, обеспечивающей безаварийную и безопасную работу печи.

Как видно из результатов моделирования электропривода, система векторного управления обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению со скалярным методом управления. Она обеспечивает четырёхкратный момент при увеличении тока в 2,3 раза. Следовательно система векторного управления обладает энергосберегающими свойствами.

Conclusion

The purpose of this diploma project was the design and development of the electric drive of a rotary kiln for calcining molybdenum concentrate.

As a result of the completed project, the electric drive is fully designed to meet the technical requirements and all the above features. The developed electric drive of a rotary kiln for baking molybdenum concentrate completely satisfies all technical requirements and special features of the technological process.

The automatic control system of the electric drive of the rotary kiln includes an electric motor, converter, transmission and control systems, which together represent a complex electromechanical structure.

Pokazateli transient processes, obtained with the help of numerical modeling on computers, are close to the indicators of the system, expected when the settings of contours are made.

The static error of the system satisfies the specified error of the rate-keeping under maximum load. At idle speed error is almost zero.

The electric drive of the rotary kiln provides long-term operation with a very inertial load; minimum reversal time and a sufficiently wide range of regulation.

In addition, the electric drive of the rotating is equipped with a system of protection and signaling, ensuring trouble-free and safe operation of the furnace.

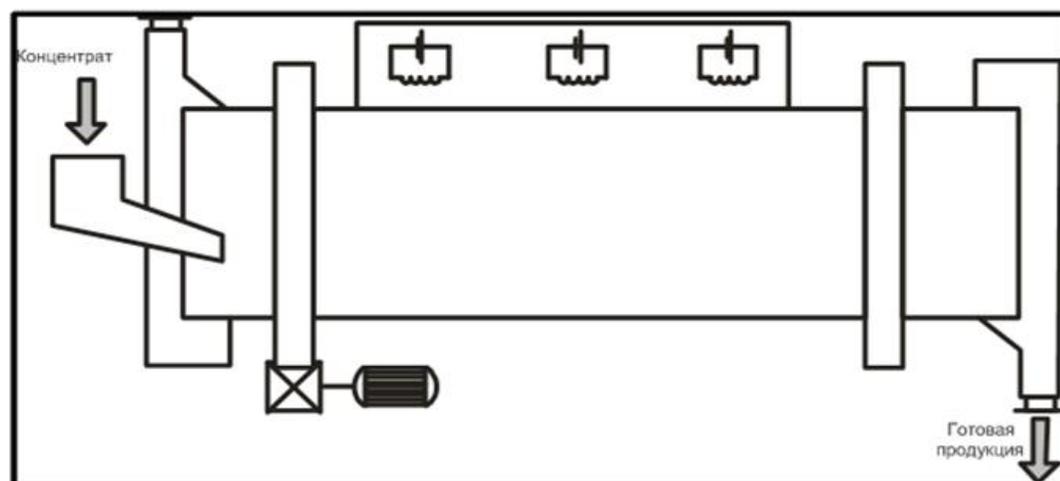
As can be seen from the simulation results of the electric drive, the vector control system has undeniable advantages over the scalar control method. It provides a fourfold moment with an increase in current of 2.3 times. Consequently, the vector control system has energy-saving properties.

Список использованной литературы

1. Елесеев В.А., Справочник по автоматизированному электроприводу, Энергоатомиздат, 1983 г.
2. Ланграф С.В., Асинхронный электропривод, ТПУ Томск, 2003 г.
3. Преобразователь частоты с управлением вектора потока EI-9011. Руководство по эксплуатации.
4. Шрейнер Р.Т., Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты, Екатеринбург УРО РАН, 2000 г.
5. Система стандартов безопасности труда.
6. Сибаров Ю.Г., Сколотнев Н.Н. Охрана труда в вычислительных центрах.-М: Машиностроение, 1985
7. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей.- Томск: Изд. ТПУ, 2000.-14 с.

Приложение А.
Графический материал.

Вращающаяся печь для обжига молибденового концентрата

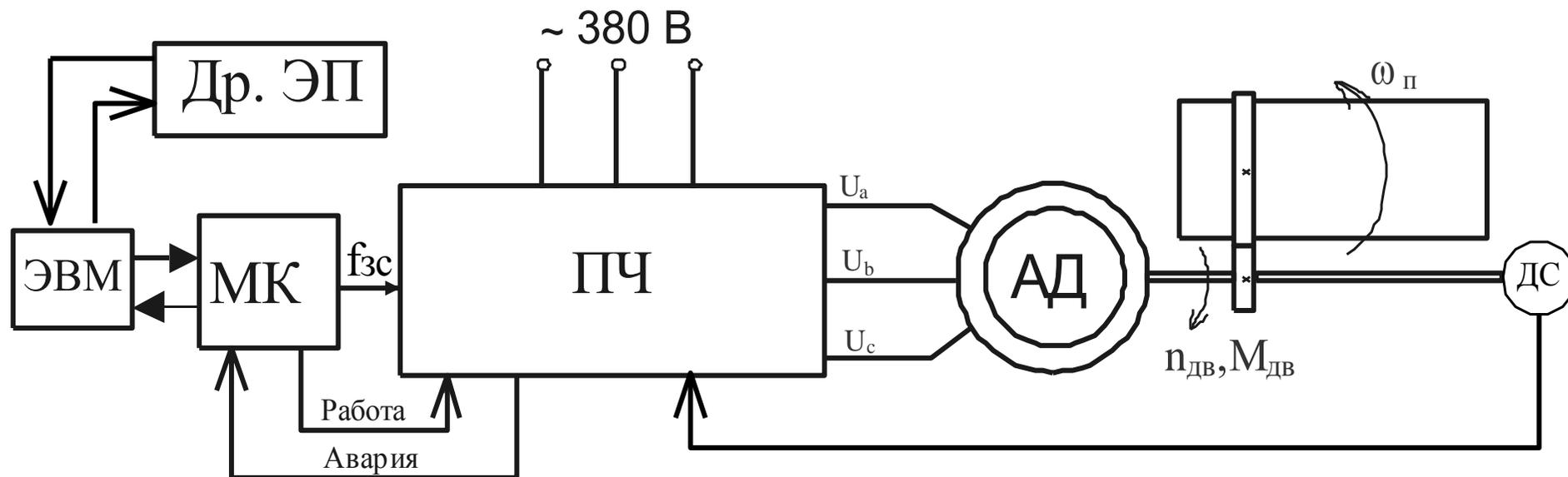


Масса печи $m_{\text{п}}=5000$ кг.

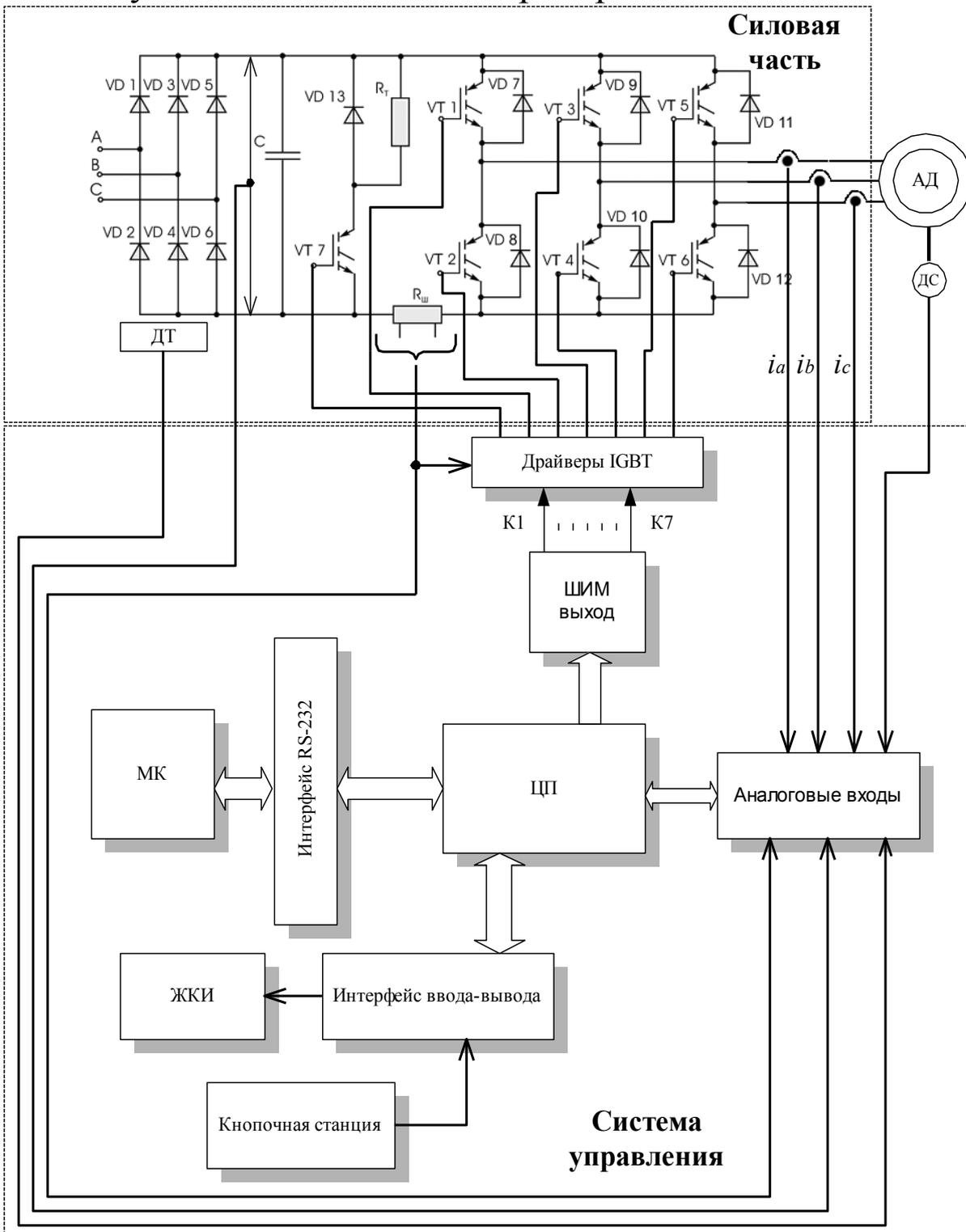
Масса загружаемого сырья $m_{\text{с}}=3000$ кг.

Редуктор имеет передаточное число $i=750$

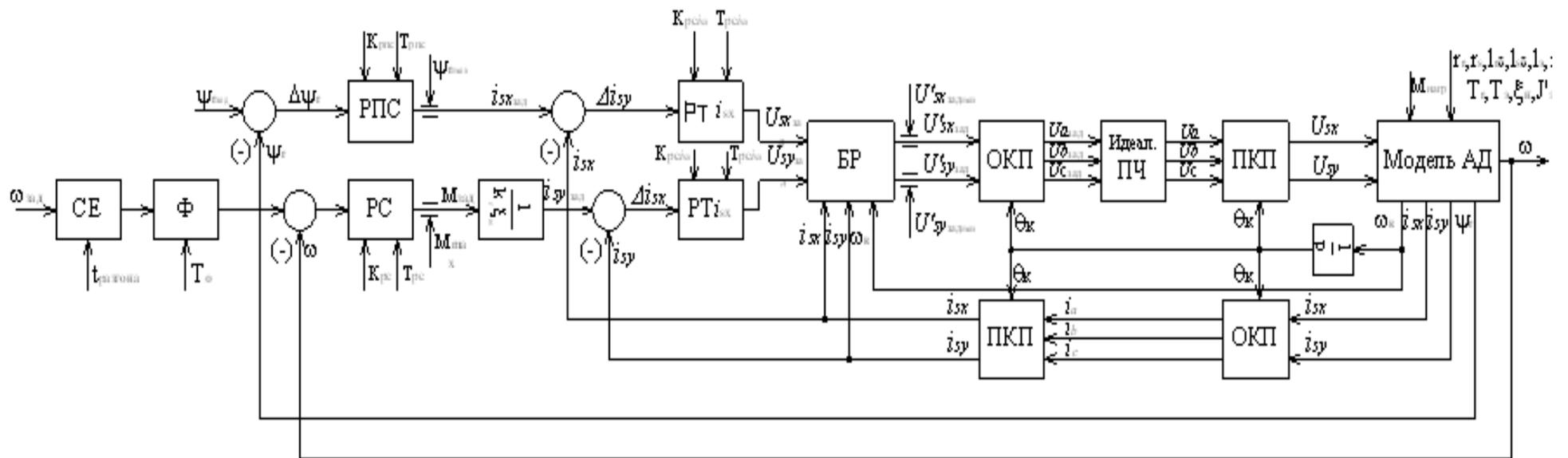
Упрощенная функциональная схема электропривода

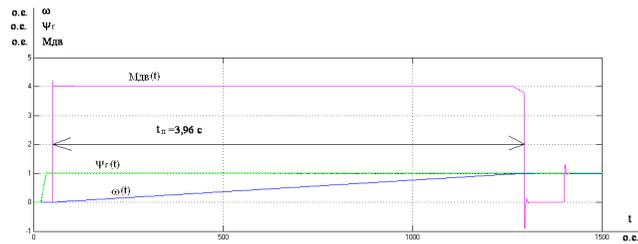


Функциональная схема преобразователя частоты

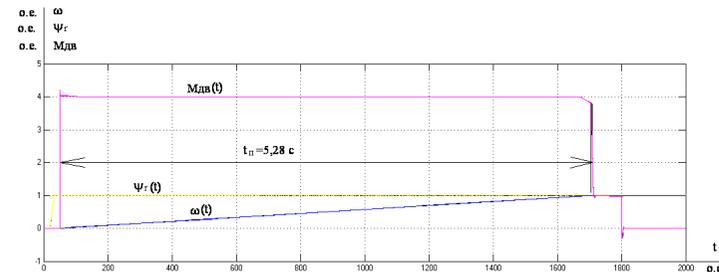


Упрощенная структурная схема системы векторного управления асинхронным электроприводом с однозонным регулированием скорости

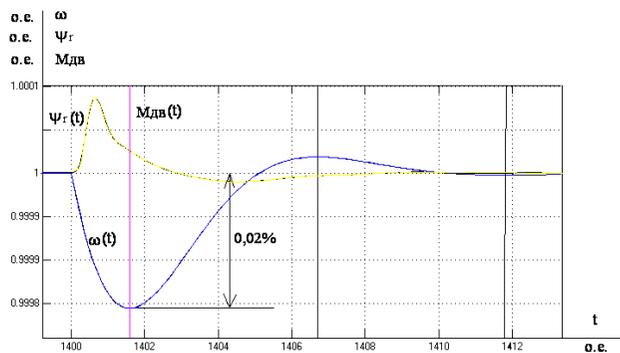




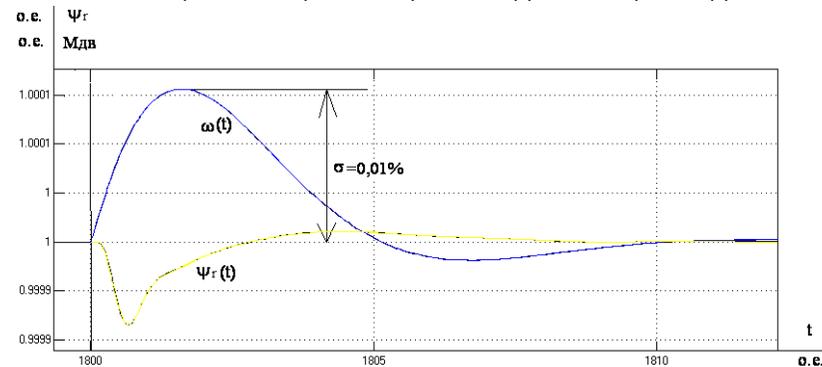
Переходные процессы пуска без нагрузки и наброс нагрузки



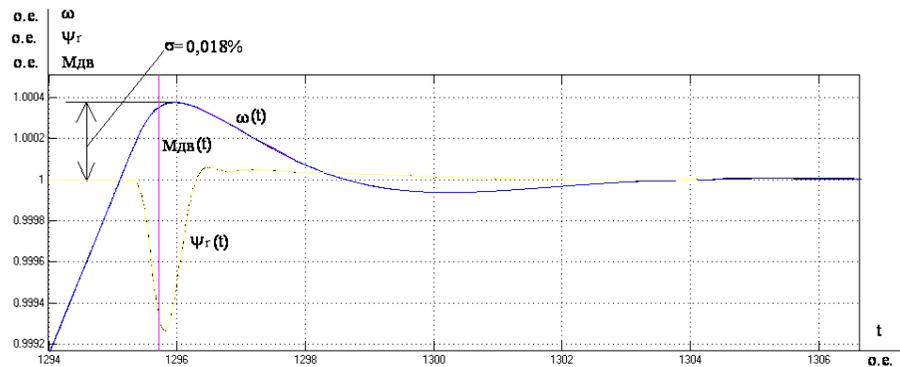
Переходные процессы пуска с нагрузкой и сброс нагрузки



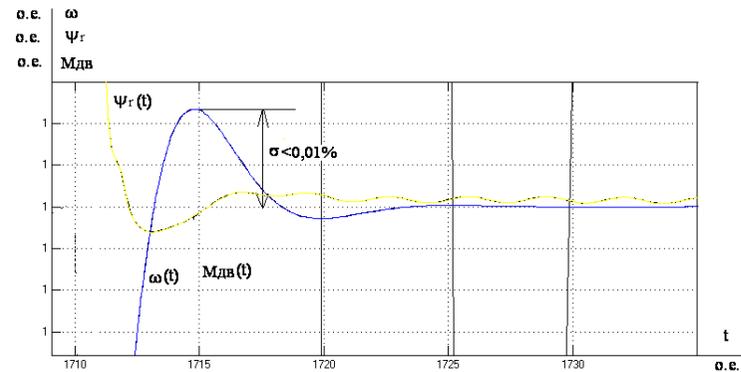
Увеличенный переходный процесс наброса нагрузки



Увеличенный переходный процесс с нагрузкой



Увеличенный переходный процесс пуска без нагрузки



Увеличенный переходный процесс пуска с нагрузкой

График выполнения пусконаладочных работ

