

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 119 с., 63 рис., 36 табл., 18 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: Электропривод, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, естественные характеристики, искусственные характеристики, скалярное управление.

Объектом исследования является система ПЧ - АД.

Цель работы – исследование системы ПЧ - АД со скалярным управлением, исследование влияния входной частоты на переходные процессы системы ПЧ - АД, разработка имитационной модели ПЧ - АД моделей.

В процессе исследования были получены переходные характеристики системы ПЧ – АД со скалярным управлением.

В результате выполнения магистерской диссертации была осуществлена разработка системы ПЧ – АД со скалярным управлением, соответствующая условиям технического задания.

Достигнутые технико-эксплуатационные показатели: высокие показатели переходных процессов (перерегулирование, быстродействие).

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2010 на листах белой бумаги формата А4 с помощью программных сред Matlab, MathCAD.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день на большинстве обогатительных фабрик для обеспечения технологических процессов необходимо перемещать большие потоки различных пульп. При проектировании обогатительных фабрик стремятся для перемещения пульп использовать в полной мере самотечный транспорт, что достигается расположением фабрик на наклонных площадках. Однако разнообразие используемых процессов обогащения, направленных на повышение извлечения металлов из руды, требует перемещать большую часть пульп снизу вверх. Перемещаемые потоки пульпы обладают очень высокими абразивными свойствами, содержат крупные частицы измельченной руды, имеют очень разнообразный диапазон требуемого напора и пульпоподачи.

Используемые насосы для перемещения пульп на обогатительных фабриках имеют существенные недостатки. Имеют очень малый ресурс времени безаварийной работы, ввиду быстрого износа прежде всего вращающихся узлов. Часто не удается подобрать насос, параметры которого соответствовали бы требуемому напору и подаче, в результате насос эксплуатируется на неэффективных режимах. Необходимо провести исследования системы “преобразователь частоты - асинхронный электропривод”, рассчитать параметры насоса, смоделировать структурную и функциональную схемы системы управления насоса.

1 Технологический процесс производства концентратов на обогатительной фабрике

Рассмотрим процесс производства концентратов на обогатительной фабрике.

Добытая руда поступает на участок дробления, который расположен в главном корпусе №1 обогатительной фабрики, где происходит подготовительное для дальнейшей переработки дробление. Данный процесс тщательно контролируется. Исходный продукт должен удовлетворять необходимым требованиям.

После подготовительного дробления руда поступает в бункеры, расположенные в главном корпусе №2 обогатительной фабрики, где и происходит процесс получения концентратов цинка, свинца, меди и других. Рассмотрим этот процесс подробнее.

Из бункера измельченная руда поступает на подбункерный транспортер (3), при этом 80% поступившей руды должно соответствовать требованиям технологического процесса (быть в диаметре не более 16 мм); затем с подбункерного транспортера руда поступает на питающий транспортер (3.1).

На питающем транспортере расположены конвейерные весы (16), предназначенные для измерения погонной массы продукта на транспортере, скорости движения ленты и производительности транспортера. В случае, если показатель весов (16) отклоняется от нормы, то регулируется скорость подачи руды из бункера на подбункерный транспортер, а также скорость вращения подбункерного транспортера (3).

С питающего транспортера руда поступает в мельницу (2), где происходит измельчение руды до размера в 16 микрон (до таких размеров измельчается примерно 72-78% руды от общего количества). Измельченная в мельнице руда поступает в классификатор (4), где происходит грубое разделение тонкого слива от песков. Пески отправляются на домалывание в мельницу (2) по магистралям, а слив отправляется в ЗУМПФ (5), где прокачивается через насос (6) в гидроциклоны (1) под определенным давлением, где происходит

вторичное (окончательное) разделение продукта на пески и слив. Далее по трубопроводу(9) слив, соответствующий определенным параметрам, уходит на флотацию для дальнейшего обогащения, а через трубопровод (10) недостаточно измельченные пески уходят на дополнительную переработку в мельницу (2).

В ЗУМПФе (5) имеется датчик (8), который контролирует уровень продукта. В случае отклонения показаний от заданного параметра датчик дает сигнал на частотный преобразователь, который регулирует подачу технической воды при помощи насоса (6).

Датчик давления и плотности (7), расположенный в гидроциклонах, контролирует плотность продукта. В случае отклонения этого параметра датчик давления и плотности (7) регулирует подачу воды в ЗУМПФ (5) с помощью заслонки (14).

Для безаварийной работы насоса (6), при его остановке и запуске, через заслонку (11) промывается магистраль, ведущая в ЗУМПФ (5), а через заслонку (12) промывается насос (6) и труба нагнетания (15), подходящая к гидроциклонам (1). При остановленном насосе (6) шиберная заслонка (13) закрыта. При запуске насоса (6) система работает в следующей последовательности:

1. открывается заслонка (11), промывается магистраль, ведущая в ЗУМПФ (5), затем заслонка (11) закрывается;
2. открывается заслонка (12), через которую поступает вода в насос (6), при этом освобождая его от песков и ила, промывая трубу нагнетания (15), затем заслонка (12) закрывается.
3. открывается шиберная заслонка (13) и запускается насос (6).

Данная система промывания необходима для предотвращения заиливания и запесочивания насоса (6) и магистралей, ведущих в ЗУМПФ (5) и гидроциклоны (1) [1].

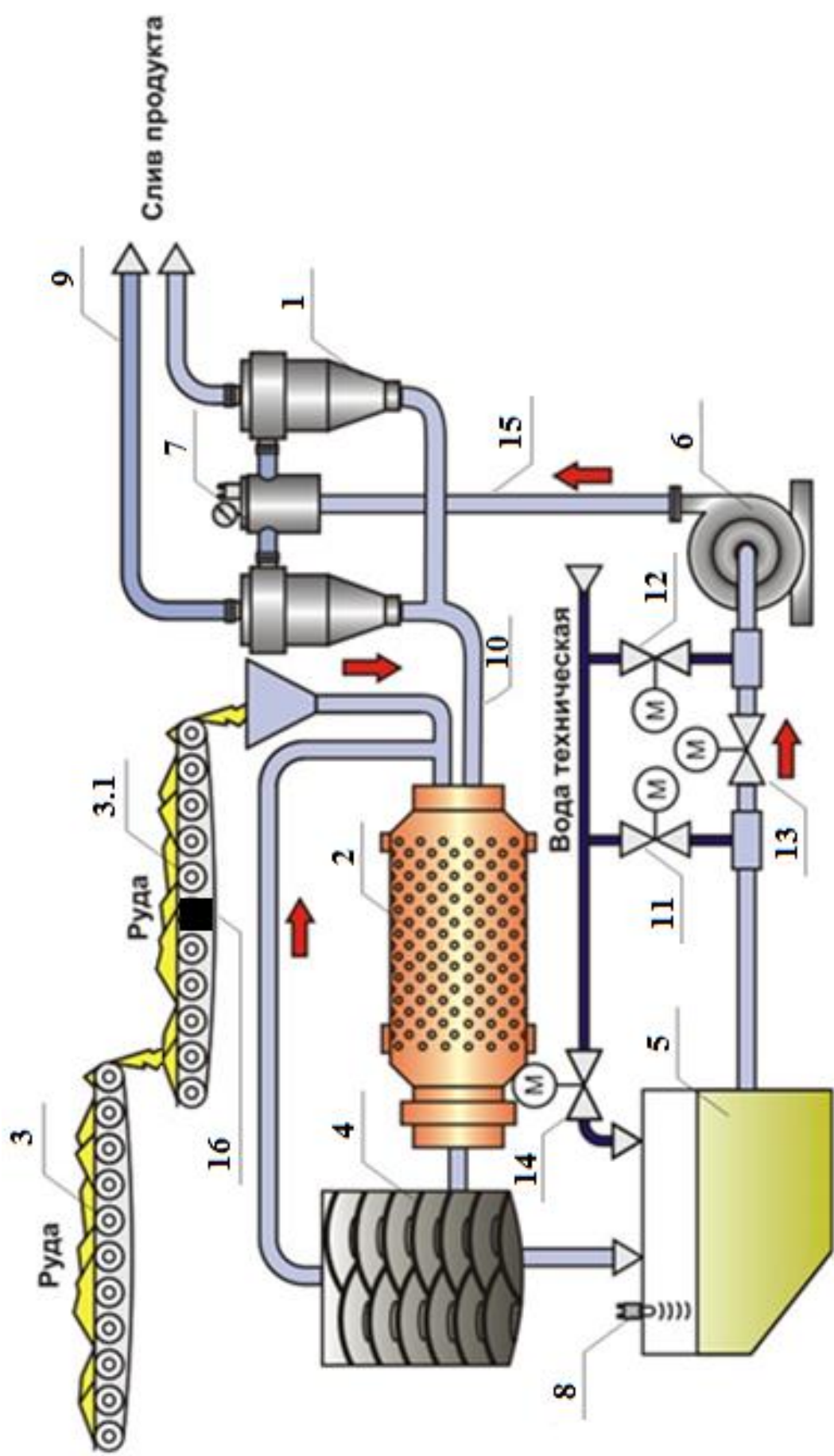


Рисунок 1.1 - Схема процесса классификации руд

2.Выбор оборудования

2.1 Выбор электродвигателя

Исходя, из исходных данных, выберем электродвигатель.

Выбираем асинхронный двигатель с замкнутым ротором типа АИР315S2 со следующими паспортными данными [4].

Таблица 2.1 – Паспортные данные двигателя АИР315S2

Тип	U_n , В	P_n , кВт	n_n , об/мин	КПД, %	$\cos\varphi$	J , $\text{Кг}\cdot\text{м}^2$	$I_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$
АИР315S2	380	160	2945	94.6	0.92	2.82	278.546	7.1	1.8

2.2 Расчет естественных механической и электромеханических Характеристик

При создании электроприводов с двигателями переменного тока часто сталкиваются с проблемой определения параметров асинхронного двигателя, которые необходимы для проектирования и настройки системы управления электроприводом, а также для моделирования переходных процессов в асинхронном электроприводе с ПЧ.

Одним из вариантов определения параметров АД является метод использования конструктивных параметров электрической машины, но он обладает существенным недостатком, который заключается в том, что разработчикам электропривода эти параметры не всегда доступны, и, кроме того, необходимо располагать соответствующими методиками расчёта.

Для расчета электромеханических и механических характеристик асинхронного двигателя необходимо воспользоваться 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 (Рисунок 4).

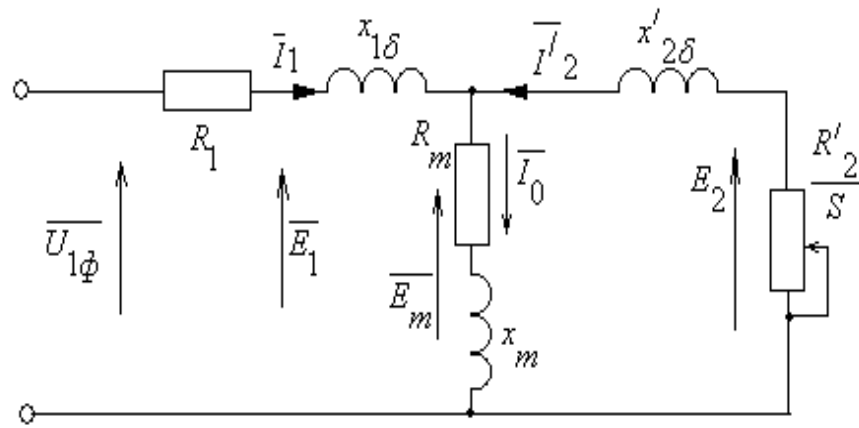


Рисунок 2.1 - Схема замещения асинхронного двигателя.

По паспортным данным рассчитываем параметры двигателя

$$I_n = \frac{P_n}{3 * U_1 * \cos \varphi * \eta_n} = 278.546 A$$

-номинальный ток статора ,

$$R_1 = C_1 * R_2' * \beta = 0.015 \text{ Ом- активное сопротивление статора обмотки}$$

$$\text{Где } C_1 = 1 + (I_0/2 * K_I * I_n) = 1.014$$

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{S_K}) * C_1} = 0.015$$

Ом –активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора

Найдем значение индуктивного сопротивления короткого замыкания

$$X_{KH} = C_1 * R_2' * \gamma = 0.184 \text{ Ом}$$

Найдем значение индуктивного сопротивления роторной обмотки, приведенной к статорной

$$X_2' = 0.58 * \frac{X_{KH}}{C_1} = 0.105 \text{ Ом}$$

Найдем значение индуктивного сопротивления статорной обмотки

$$X_{1n}' = 0.42 * X_{KH} = 0.077 \text{ Ом}$$

По найденным значения определим критическое скольжение

$$s_{k1} = \frac{C_1 * R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = 0.083$$

Найдем индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu n} = \frac{E_1}{I_0} = 3.839 \text{ Ом, где } E_1 = 208.445 \text{ В - ЭДС ветви намагничивания,}$$

наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме.

Сведем параметры схемы замещения электродвигателя в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры схемы замещения

$R_1, \text{Ом}$	$R_2', \text{Ом}$	$X_{1n}, \text{Ом}$	$X_{2n}', \text{Ом}$	$L_{1n}, \text{Гн}$	$L_{2n}', \text{Гн}$	$X_{\mu}, \text{Гн}$	$L_{\mu}, \text{Гн}$	$X_{KH}, \text{Ом}$
0.015	0.015	0.077	0.105	3.346*	2.456*	3.839	0.012	0.184
				10^{-4}	10^{-4}			

Определяем синхронную скорость

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_{1n}}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ об/мин,}$$

где f_{1n} – частота сети, p – число полюсов.

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику в двигательном режиме.

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 * R_2'}{\omega_0 * \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]}$$

Рассчитаем контрольные точки механической характеристики по паспортным данным:

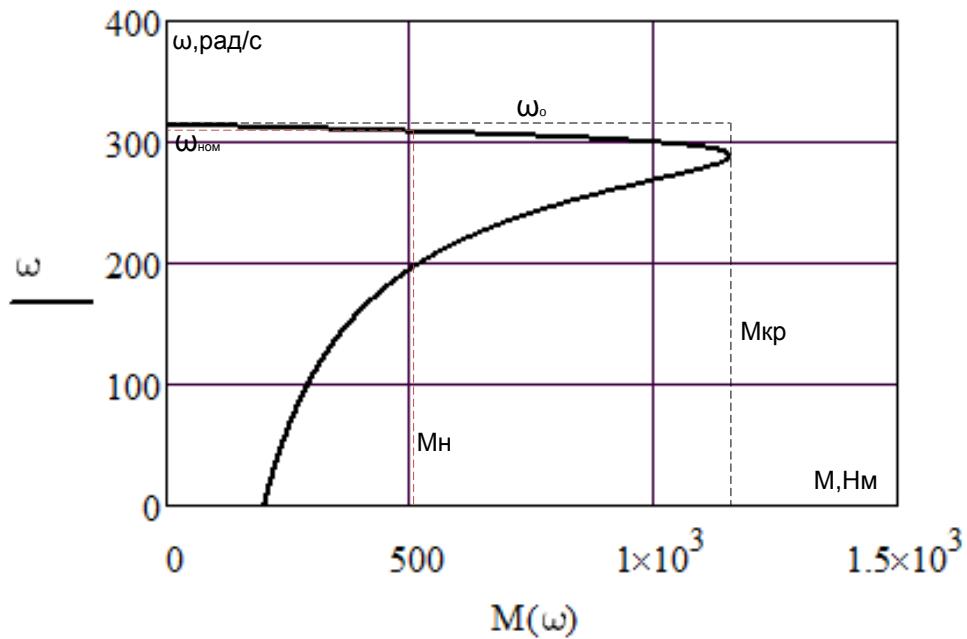


Рисунок 2.2 - Естественная механическая характеристика

Таблица 2.3

ω, рад/с	0	50	100	200	300
М, Нм	201.35	238.21	291.35	519.51	989.81

Номинальная скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - S_n) = 314 \cdot (1 - 0.0083) = 311.39 \text{ рад / с};$$

Номинальный момент двигателя

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{160000}{311.4} = 513.81 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Минимальный момент двигателя

$$M_{\text{мин}} = k_{\text{мин}} \cdot M_n = 0.9 \cdot 513.81 = 462.43 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальный момент двигателя

$$M_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} \cdot M_n = 2.2 \cdot 513.81 = 1130.38 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковой момент двигателя

$$M_n = k_n \cdot M_{н} = 1.8 \cdot 513.81 = 924.86 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Отклонение по пусковому моменту между расчётными и каталожными данными менее 5 %. Таким образом, рассчитанные значения параметров схемы замещения достаточно точно соответствуют действительным параметрам электродвигателя.

Рассчитываем естественные электрохимические характеристики: $I_2' = f(S)$ и $I_1 = f(S)$

$$I_1(\omega) := \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \frac{X_{1H} + X_{2H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega_0 - \omega}}\right)^2 + (X_{1H} + X_{2H})^2}}$$

Результаты расчёта данных характеристик представим в виде графика:

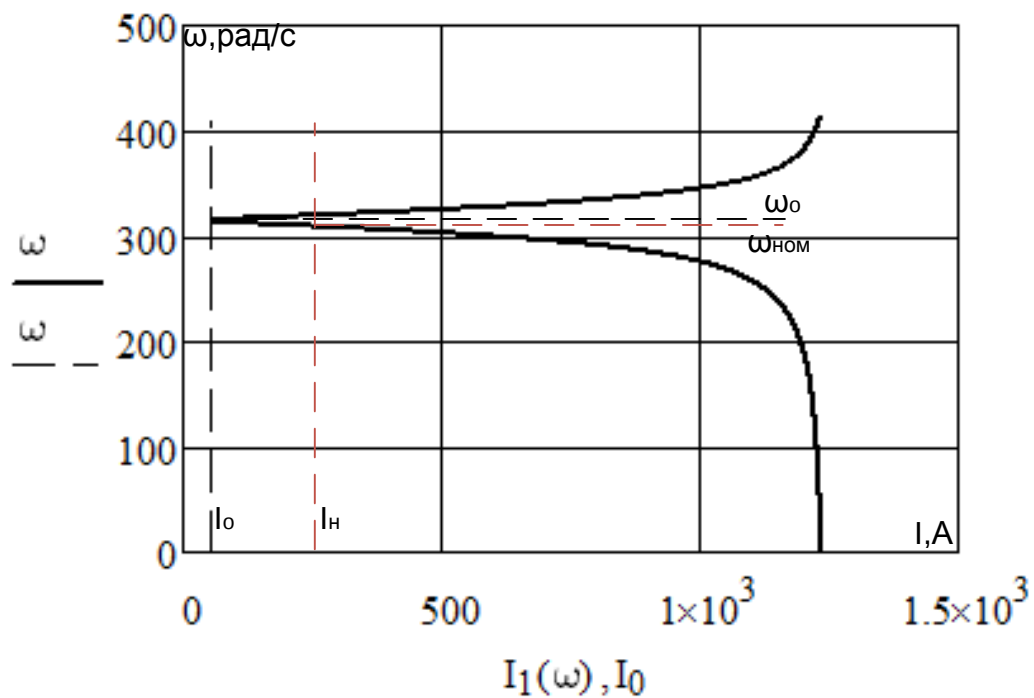


Рисунок 2.3 - Электрохимическая характеристика двигателя

Таблица 2.4

ω, рад/с	0	50	100	200	300
I, А	1237.5	1233.1	1228.7	1197.2	583.4

3. Расчет статических и динамических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода.

3.1 Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик АД для закона регулирования

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50; 25; 15; 10$ Гц.

При законе регулирования $Z_p = \frac{U_{1H}}{f_1^3} = \frac{220}{50^3} = 1,76 \cdot 10^{-3}$.

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

$$\text{при } f_{1H1}=50 \text{ Гц} \quad f_{1*1} = \frac{f_{1H}}{f_{1H}} = \frac{50}{50} = 1$$

$$\text{при } f_{1H2}=35 \text{ Гц} \quad f_{1*2} = \frac{f_{2H}}{f_{1H}} = \frac{25}{50} = 0.7$$

$$\text{при } f_{1H3}=25 \text{ Гц} \quad f_{1*3} = \frac{f_{3H}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0.5$$

$$\text{при } f_{1H4}=15 \text{ Гц} \quad f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{5}{50} = 0.3$$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1}^3 = 1.76 \cdot 10^{-3} \cdot 50^3 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2}^3 = 1.76 \cdot 10^{-3} \cdot 35^3 = 75.46 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3}^3 = 1.76 \cdot 10^{-3} \cdot 25^3 = 27.5 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4}^3 = 1.76 \cdot 10^{-3} \cdot 15^3 = 5.94 \text{ В}.$$

В соответствии с представленными частотами питающего напряжения произведем расчет значений скорости идеального холостого хода:

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{1} = 314.159 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 35}{1} = 219.91 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 25}{1} = 157.08 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 15}{1} = 94.248 \text{ рад/с.}$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{3.839} = 57.306 \text{ A};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{75.46}{3.839 \cdot 0.7} = 28.08 \text{ A};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{27.5}{3.839 \cdot 0.5} = 14.33 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{5.94}{3.839 \cdot 0.3} = 5.16 \text{ A.}$$

Строим электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для выбранных частот по выражениям:

$$\Gamma_2(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}},$$

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

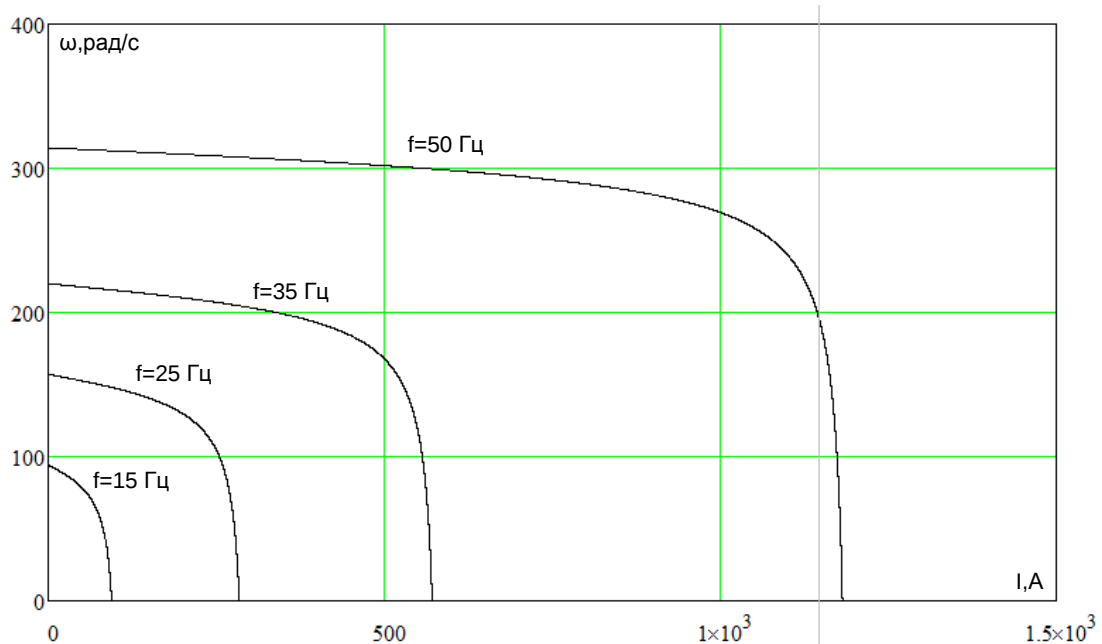


Рисунок 3.1– Искусственные электромеханические характеристики

$\Gamma_2(\omega)$ для закона регулирования $\frac{U_1}{f_1^3} = const$

Таблица 3.1

ω_1 , рад/с	314	282.7	219.9	94.3	0
I_1 , А	1.5	888.1	1128.7	1174.4	1182.1
ω_2 , рад/с	207.2	141.4	94.3	31.4	0
I_2 , А	254.7	536.2	558.2	568.7	571.2
ω_3 , рад/с	152.3	96.8	52.5	24.4	0
I_3 , А	128.4	240.3	252.5	257.1	268.7
ω_4 , рад/с	91.4	68.3	38.8	16.2	0
I_4 , А	15.2	89.9	103.8	112.1	117.3

Также строим электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ для выбранных частот по выражениям

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

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1-s),$$

$$\text{где } \sin \varphi_2(s, f) = \frac{X_{KH} \cdot f_{1*}(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f)}};$$

$$I_0(f) = \frac{U_1(f)}{X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}$$
 – ток холостого хода асинхронного двигателя в зависимости от частоты.

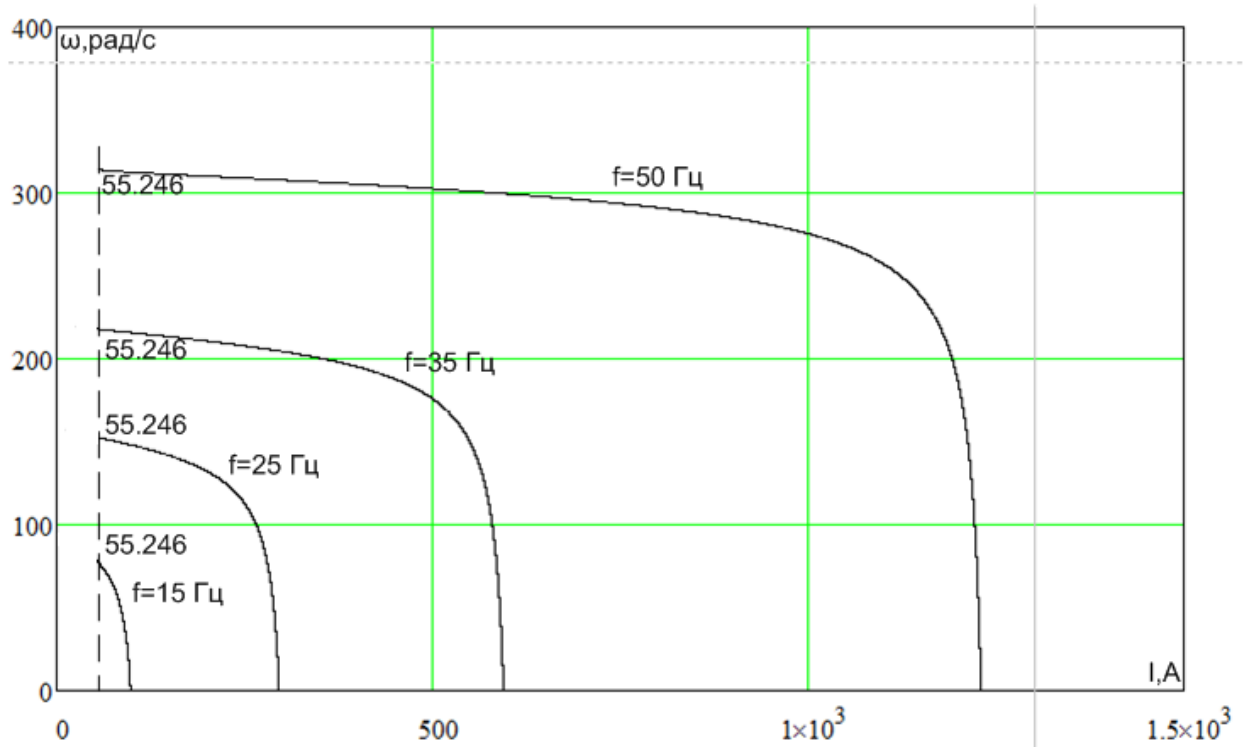


Рисунок 3.21– Искусственные электромеханические характеристики с

IR-компенсацией для закона регулирования $\frac{U_1}{f_1^3} = const$

Таблица 3.2

ω_1 , рад/с	305	282.7	219.9	94.3	0
I_1 , А	73.2	927.7	1175.7	1223.4	1230.2
ω_2 , рад/с	205.3	141.372	94.248	31.416	0
I_2 , А	254.7	536.2	558.2	568.7	571.2
ω_3 , рад/с	152.3	96.8	52.5	24.4	0
I_3 , А	128.4	237.3	255.5	259.1	268.7
ω_4 , рад/с	68.3	38.3	16.3	11.6	0
I_4 , А	93.2	103.5	112.3	115.1	117.3

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ (Рисунок 3.3) рассчитываем для выбранных по выражениям

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R'_2}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{ei}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{s \cdot X_{\mu i} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]},$$

$$\omega(s, f) = \omega_0(f)(1-s).$$

Критические момент и скольжение можно определить по выражениям

$$M_{\kappa}(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{KH}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu \text{H}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2} \right)} \right]},$$

$$s_{\kappa}(f) = R'_2 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu \text{H}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}{R_1^2 + X_{\mu \text{H}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}},$$

$$\omega_{\kappa}(f) = \omega(s_{\kappa}(f), f).$$

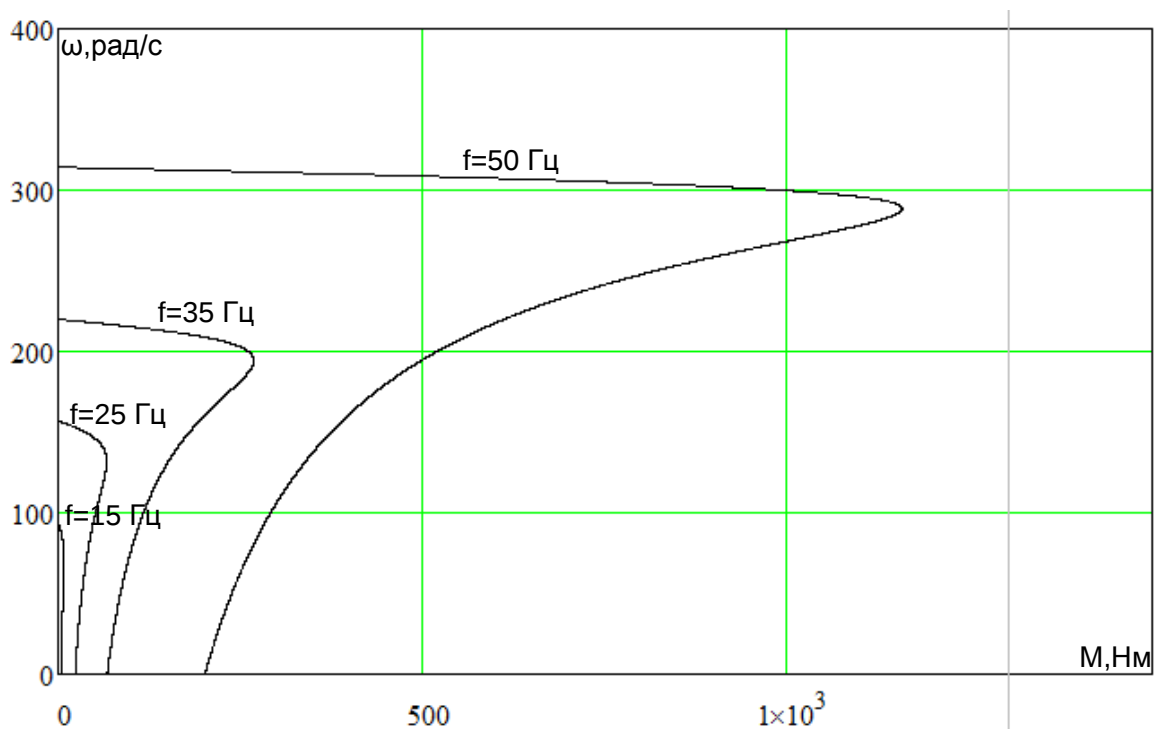


Рисунок 3.3– Искусственные механические характеристики $M(\omega)$

с ИР-компенсацией для закона регулирования $\frac{U_1}{f_1^3} = \text{const}$

Таблица 3.3

ω_1 , рад/с	314	282.7	219.9	94.3	0
M_1 , Нм	30.6	1137.2	611.5	284.7	201.4
ω_2 , рад/с	187.1	141.4	94.3	31.4	0
M_2 , Нм	260.9	164.5	116.2	77.5	67.2
ω_3 , рад/с	140.2	93.7	47.7	12.6	0
M_3 , Нм	62.5	48.5	32.2	25.4	23.3
ω_4 , рад/с	87.2	68.3	38.9	16.2	0
M_4 , Нм	4.8	7.7	6.1	4.9	4.3

Электромеханические характеристики:

При уменьшение частоты происходит уменьшение синхронной скорости, т.к.:

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f - \text{при уменьшении частоты синхронная скорость снижается.}$$

$$2. I'_{2кз} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{U_1}{f} \cong f - \text{ток короткого замыкания обратно}$$

пропорционален квадратному корню из частоты.

Механические характеристики:

$$1. \omega_0 = \frac{60 \cdot f}{p} \cong f - \text{при уменьшении частоты синхронная скорость снижается.}$$

$$2. s_k = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{1}{f}; M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}]} \cong \frac{U_1^2}{f} \cong f^2.$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.

$$3. M_{п} = 2 \cdot M_k \cdot s_k \cong f - \text{пусковой момент обратно пропорционален квадрату частоты.}$$

3.2 Расчет переходных процессов скорости и момента для режима пуска и наброса нагрузки на валу двигателя

Моделирование асинхронного двигателя осуществим с помощью программы MATLAB Simulink. Для создания имитационной модели найдем следующие параметры двигателя.

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0.709}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.0002456 \text{ Гн.}$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0.925}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.0003346 \text{ Гн.}$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{30.83}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.012 \text{ Гн.}$$

Имитационная модель изображена на рисунке 12.

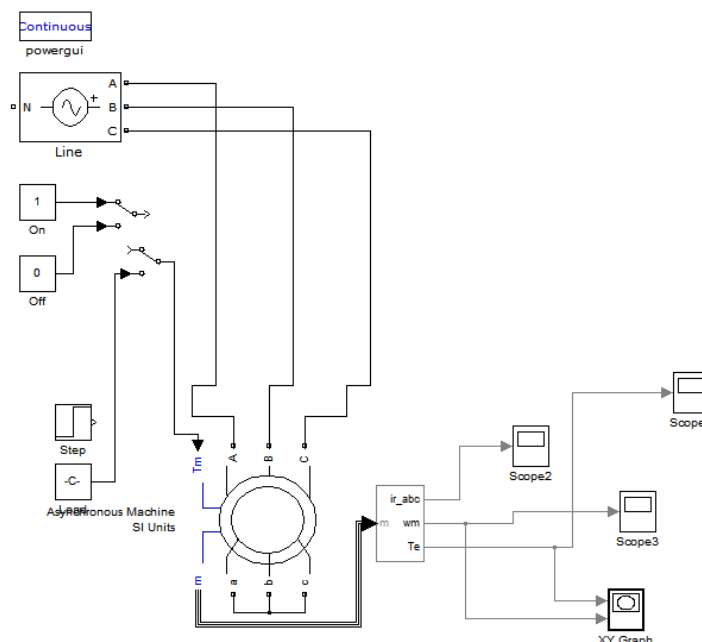


Рисунок 3.4 - Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Ниже представлены переходные характеристики скорости и момента при прямом пуске АД без нагрузки, при набросе и сбросе нагрузки.

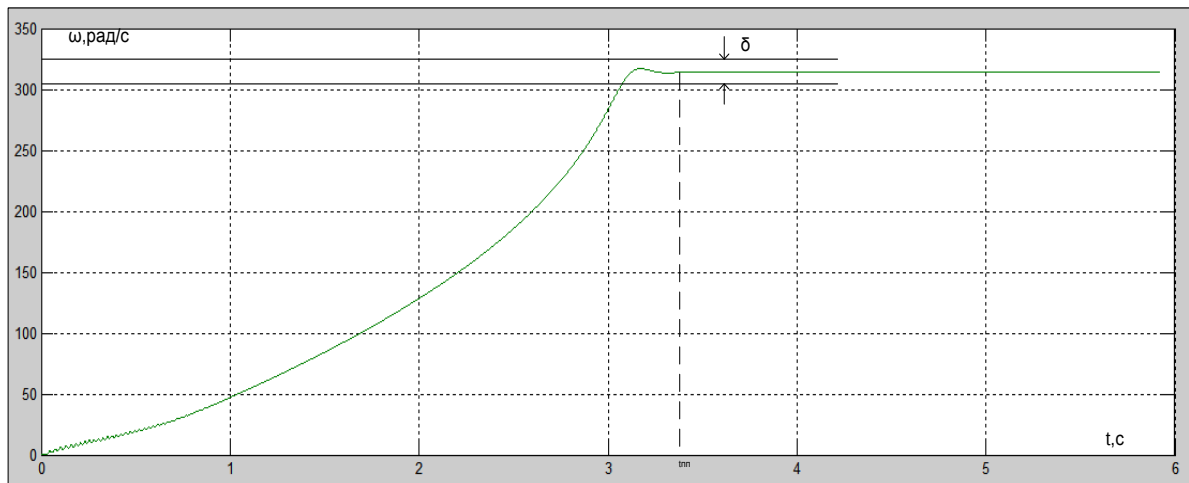


Рисунок 3.5 - График переходных процессов скорости ротора АД при прямом пуске

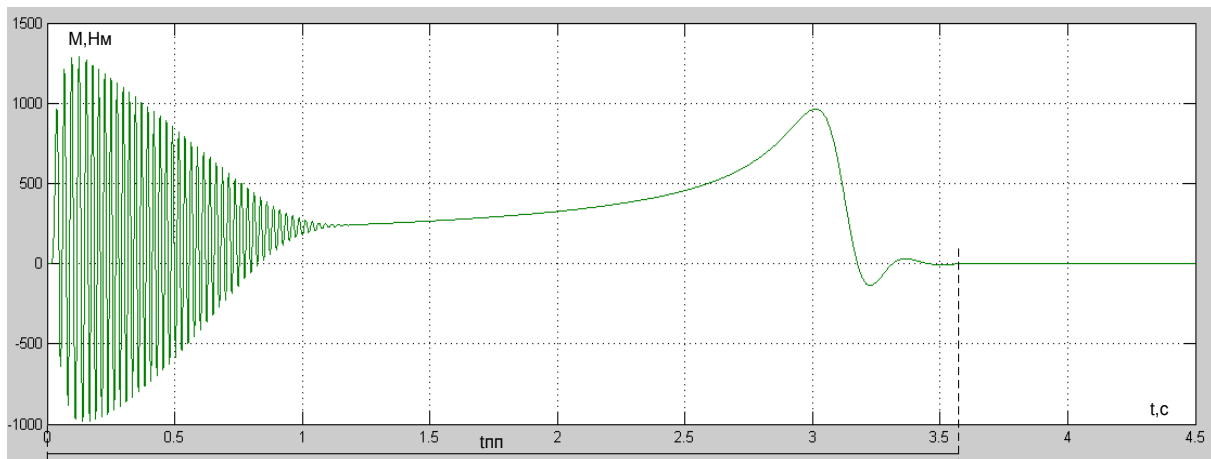


Рисунок 3.6 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при прямом пуске

Анализ графиков показывает, что при отработке переходных процессов без нагрузки (режим идеального холостого хода) АД разогнался до синхронной скорости $\omega_0 = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ за 3.1 с, его электромагнитный момент установился равным 0.

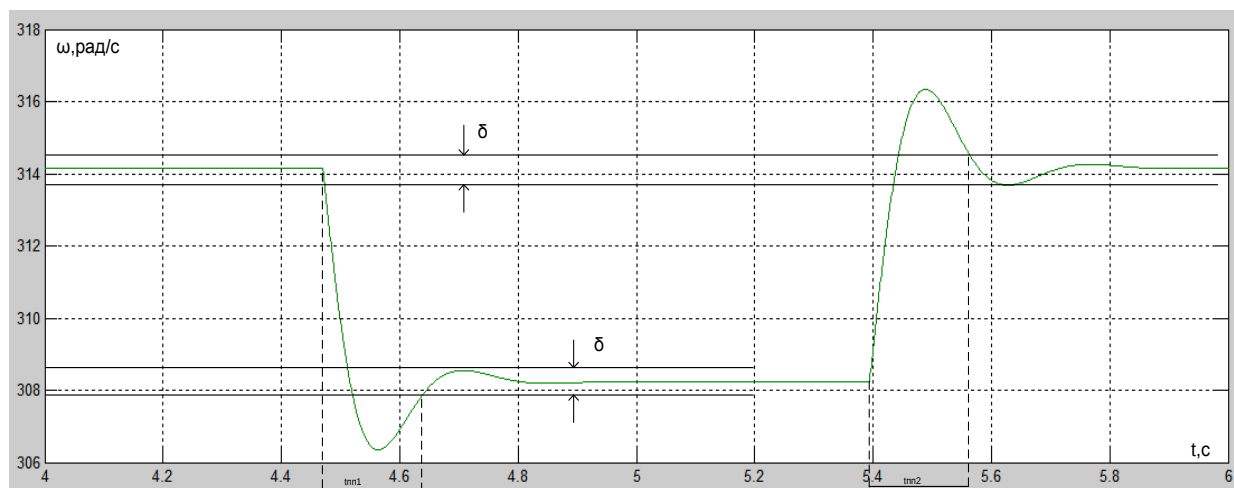


Рисунок 3.7– График переходных процессов скорости ротора АД при набросе и сбросе номинальной нагрузки

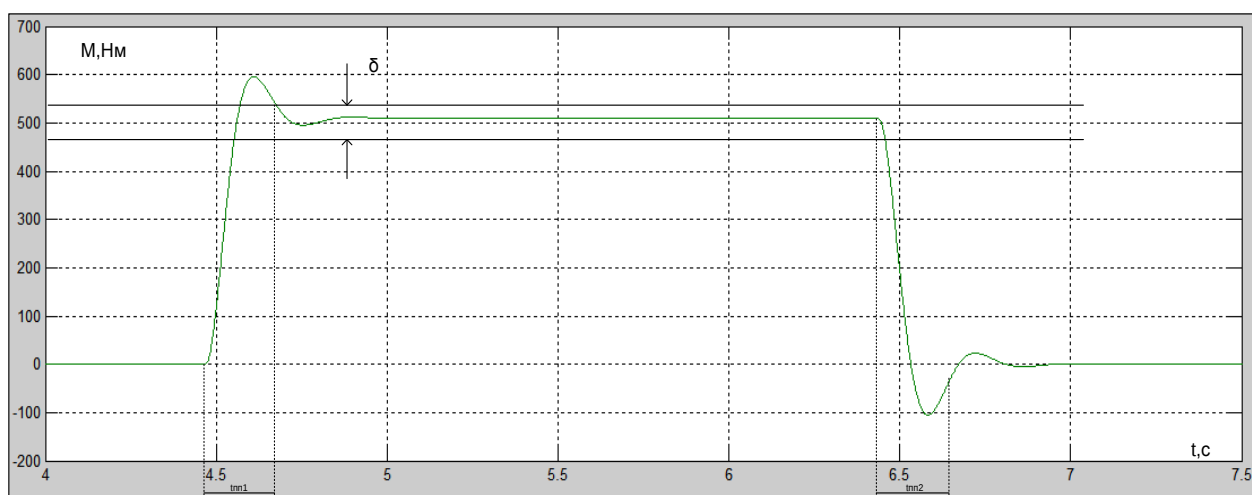


Рисунок 3.8 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при набросе и сбросе номинальной нагрузки

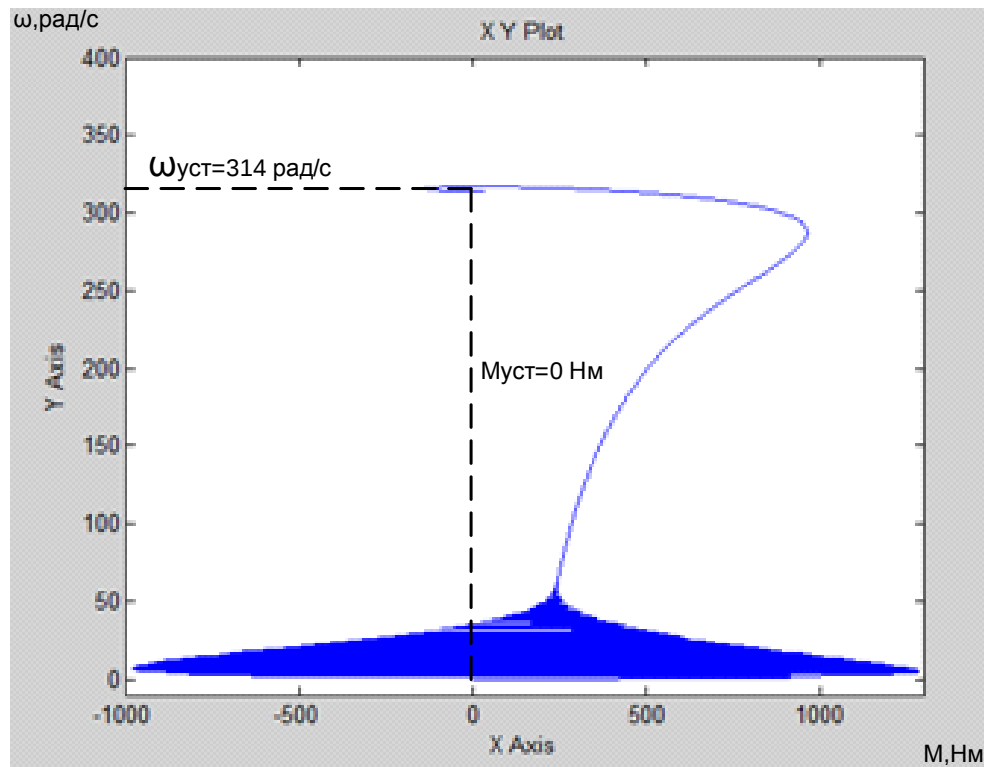


Рисунок 3.9 - График динамической механической характеристики АД при прямом пуске

В момент времени $t = 4.5\text{с}$ на валу двигателя произведен наброс нагрузки, равный номинальному моменту двигателя $M_c = 513.81\text{Н}\cdot\text{м}$. При отработке возмущающего воздействия установившаяся частота вращения ротора уменьшилась до номинальной скорости $\omega_n = 309.7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$, электромагнитный момент в установившемся режиме стал равен статическому моменту на валу двигателя $M_c = 513.81\text{Н}\cdot\text{м}$.

4. Выбор электрооборудования

4.1 Выбор насоса

По результатам расчета мощности и исходным данным, выбираем шламовый насос [Н 5570](#) компании Flygt, параметры которого представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические параметры насоса [Н 5570](#)

Марка насоса	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Мощность, кВт	Частота, об/мин	Взрывозащита
Н 5570	До 1260	До 96	70-215	3000	есть



Рисунок 4.1 – Шламовый насос [Н 5570](#)

Гидравлическая часть данного насоса, а также все износные детали, изготовлены из упрочненного высокохромистого чугуна, который обеспечивает полную защиту от износа. Рабочее колесо из высокохромистого материала с его более «плотной» конструкцией, с отогнутыми назад лопастями, обеспечивает более однородный поток между лопастями, что снижает износ и тем самым сводит к минимуму снижение гидравлического К.П.Д.

Привод и гидравлическая часть легко разбираются, что обеспечивает быстрый доступ к износным деталям. Нет необходимости в замене всей гидравлической части, поскольку составная конструкция корпуса обеспечивает легкий доступ к облицовке улитки и ее замене [2].

4.2 Выбор преобразователя частоты

Для электропривода АИР315S2 выбираем преобразователь частоты фирмы Danfoss VLT Aqua Drive FC-202.

Преобразователь FC-202 обеспечивает эффективное и надежное регулирование насосов, вентиляторов, компрессоров при перекачке различных жидкостей и газов.

Общие технические характеристики преобразователя представлены на рисунке 4.2.

Преобразователь частоты	P200
Типовая мощность на валу, кВт	200
Типовая мощность на валу, л.с.	300
Напряжение питания	3ф 380 – 480 В±10%
Выходной ток	
Номинальный (3 x 380 – 440 В), А	395
Максимальный (3 x 380 – 440 В), А	435
Выходная мощность	
Номинальная (~400 В), кВА	274
Входной ток	
Номинальный (3 x 380 – 440 В), А	381
Макс. внешние входные предохранители	500
Расчетные потери при номинальной нагрузке ~400 В, Вт	4812
Расчетные потери при номинальной нагрузке ~460 В, Вт	4535
КПД	0,98
Выходная частота	0 – 800

Рисунок 4.2 – Технические характеристики Danfoss VLT Aqua Drive FC-202



Рисунок 4.3 – Преобразователь частоты VLT Aqua Drive FC-202

Ниже приведена схема подсоединения силовых цепей и цепей управления. В режиме местного управления возможно управление электродвигателем сразу после подсоединения силовых цепей.

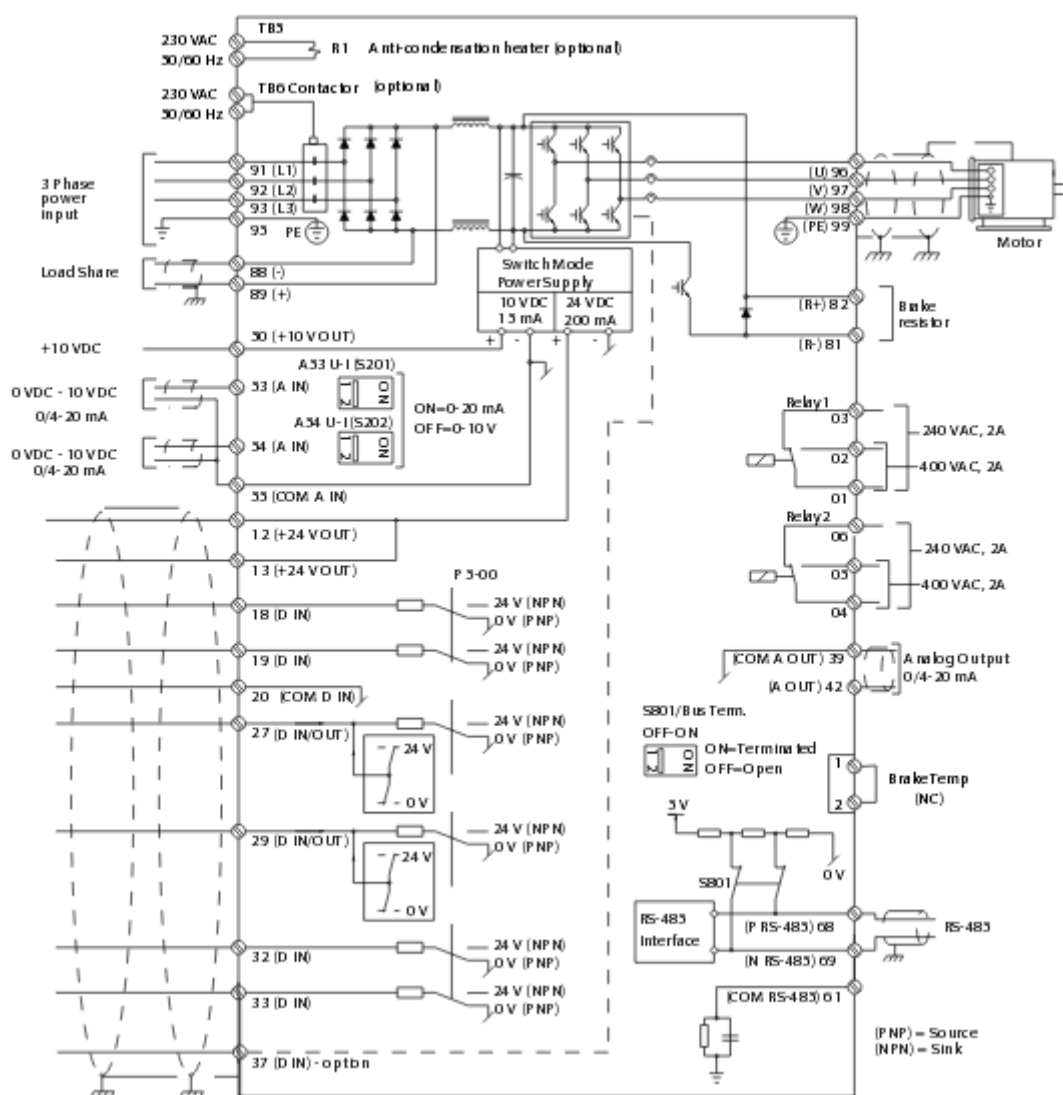


Рисунок 4.4- Схема подсоединения преобразователя VLT Aqua Drive FC-202

Следующий рисунок описывает функции клемм управления.

Сеть питания (L1, L2, L3)	
Напряжение питания	1 ф или 3 ф 200 – 240 В ±10% 1 ф или 3 ф 380 – 480 В ±10% 3×525 – 600 В ±10% 3×525 – 600 В ±10%
Частота питания	50/60 Гц
Коэффициент мощности	≥ 0,9
Отключение на стороне питания L1, L2, L3	1-2 раза в минуту
Выходные данные (U, V, W)	
Выходное напряжение	0-100% напряжения питания
Отключение на стороне выхода	Неограниченно
Время разгона (останова)	1-3600 с
Выходная частота	0-132 Гц
VLT® AQUA Drive может обеспечить 110%-ный ток в течение 1 минуты. Большие перегрузки достигаются увеличением типоразмера привода.	
Цифровые входы (DI)	
Программируемые цифровые входы	6*
Логика	NPN, PNP
Уровень напряжения	0-24 В
Вход термистора	1
*2 DI могут служить как цифровые выходы	
Аналоговые входы (AI)	
Общее число	2
Режим	Ток или напряжение
Уровень напряжения	0 – 10 В (масштабир.)
Уровень тока	0/4 – 20 мА (масштабир.)
Импульсные входы	
Общее число	2
Уровень напряжение	0 – 24 В (PNP позитивная логика)
Точность	0,1 – 110 кГц
Используются некоторые из цифровых входов	
Аналоговый выход (AO)	
Общее число	1
Диапазон выходного сигнала	0/4 – 20 мА
Макс. нагрузка (при =24 В)	130 мА
Релейные выходы (DO)	
Число релейных выходов (~240 В, 2 А и ~400В, 2 А)	2
Соединение с шинами данных	
Встроенные протоколы: FC Protocol Modbus RTU Metasys N2	Опционально: PROFIBUS DeviceNet EtherNet/IP Modbus TCP IP PROFINET
Температура	
Температура окружающей среды	До +55°C

Рисунок 4.5 – Клеммы управления преобразователя VLT Aqua Drive FC-202

4.3 Система преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Функциональная схема электропривода представлена на рисунке 4.6.

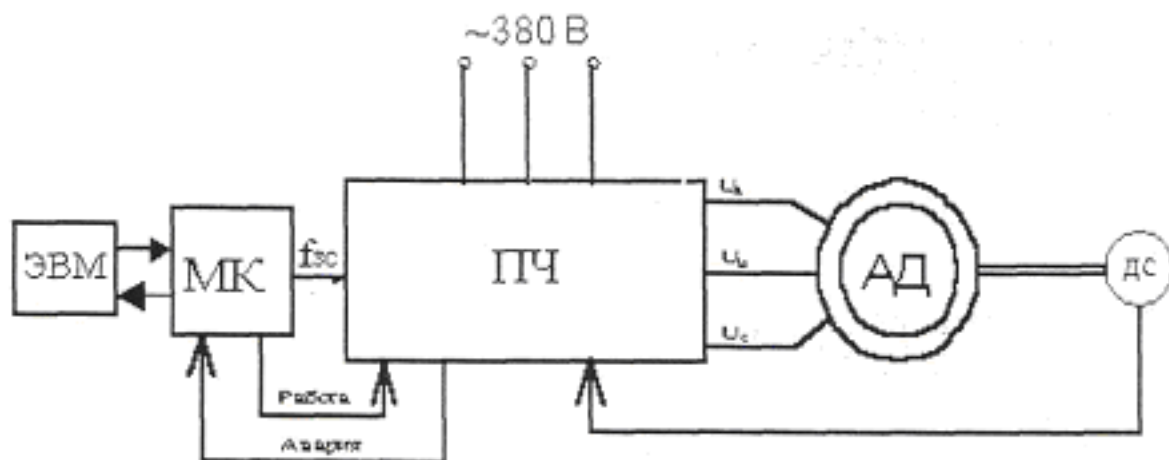


Рисунок 4.6 – Упрощенная функциональная схема электропривода

Функции управления ПЧ выполняет микроконтроллер, по своим параметрам и архитектуре идентичный с 8xC196МН.

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 (Рисунок 4.7) представлена соответствующая функциональная схема. Переменное напряжение трехфазной сети, фазы А, В, С поступает на мостовой неуправляемый выпрямитель, диоды VD1 – VD6. Выпрямленное напряжение сглаживается электрическим конденсатором большой ёмкости С и поступает на трехфазный 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.

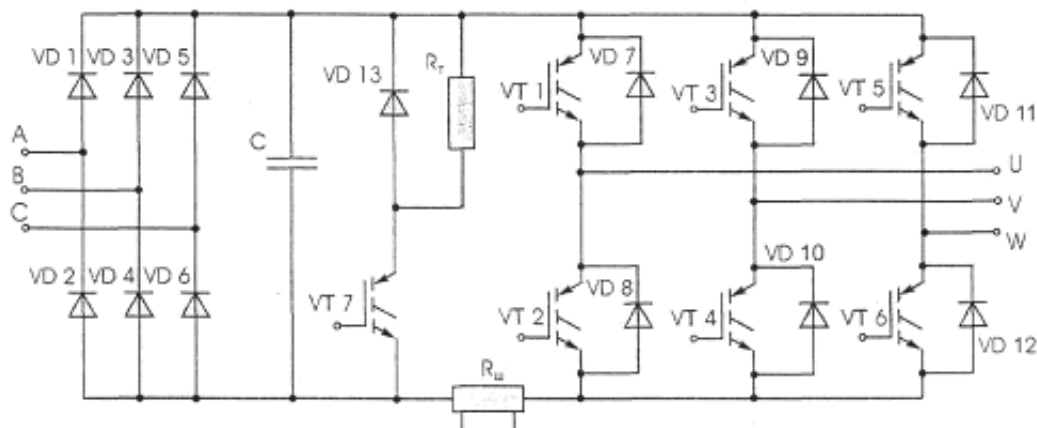


Рисунок 4.7 – Схема силового канала ПЧ

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_m 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 разъемы для дополнительных и внешних устройств.

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

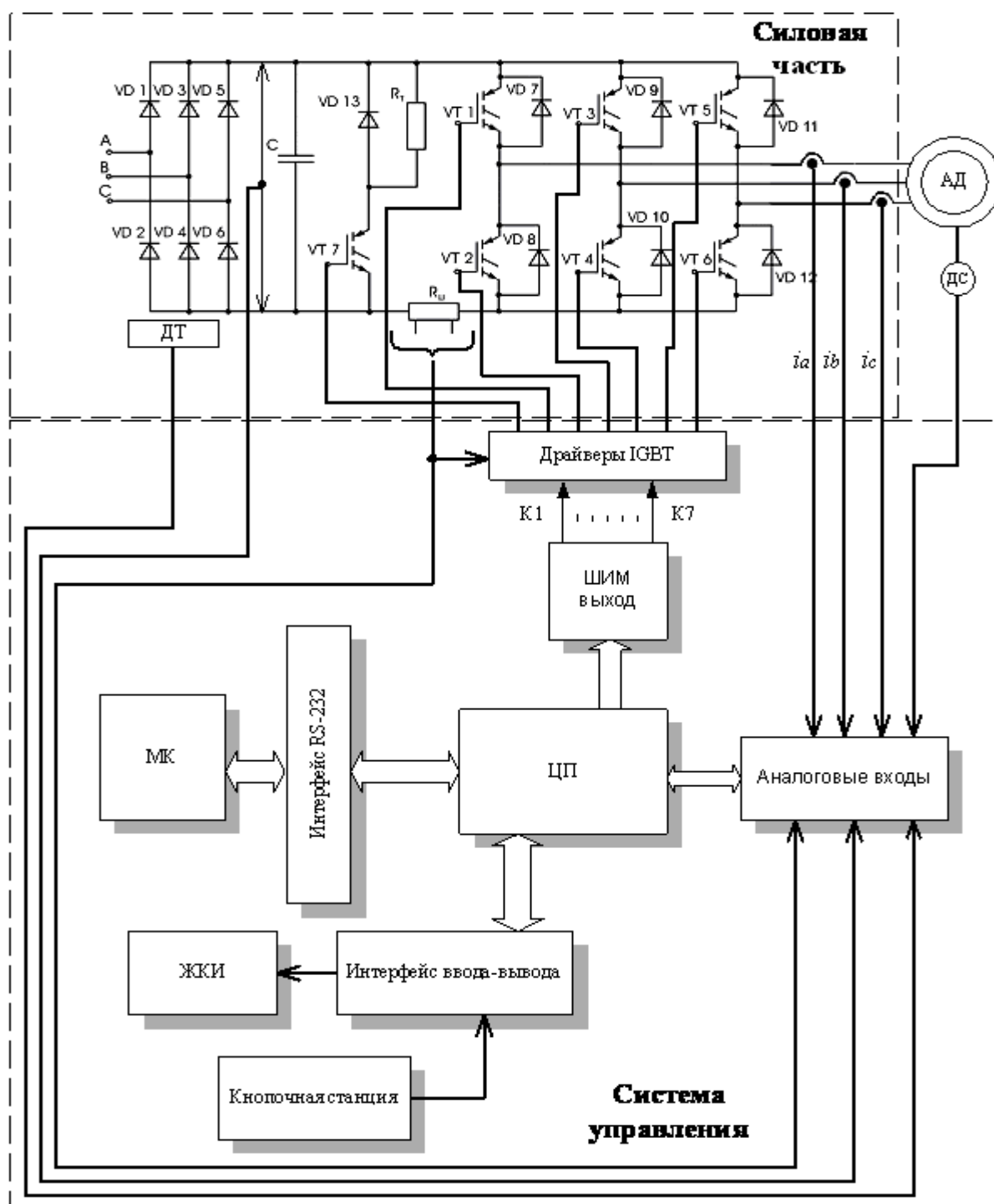


Рисунок 4.8 – Функциональная схема преобразователя частоты

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.

4.4 Подключение периферийного оборудования

Подключение периферийного оборудования к частотным преобразователям Danfoss VLT Aqua Drive FC-202 мощностью 200 кВт необходимо выполнять в соответствии с приведенной ниже схемой подключения:

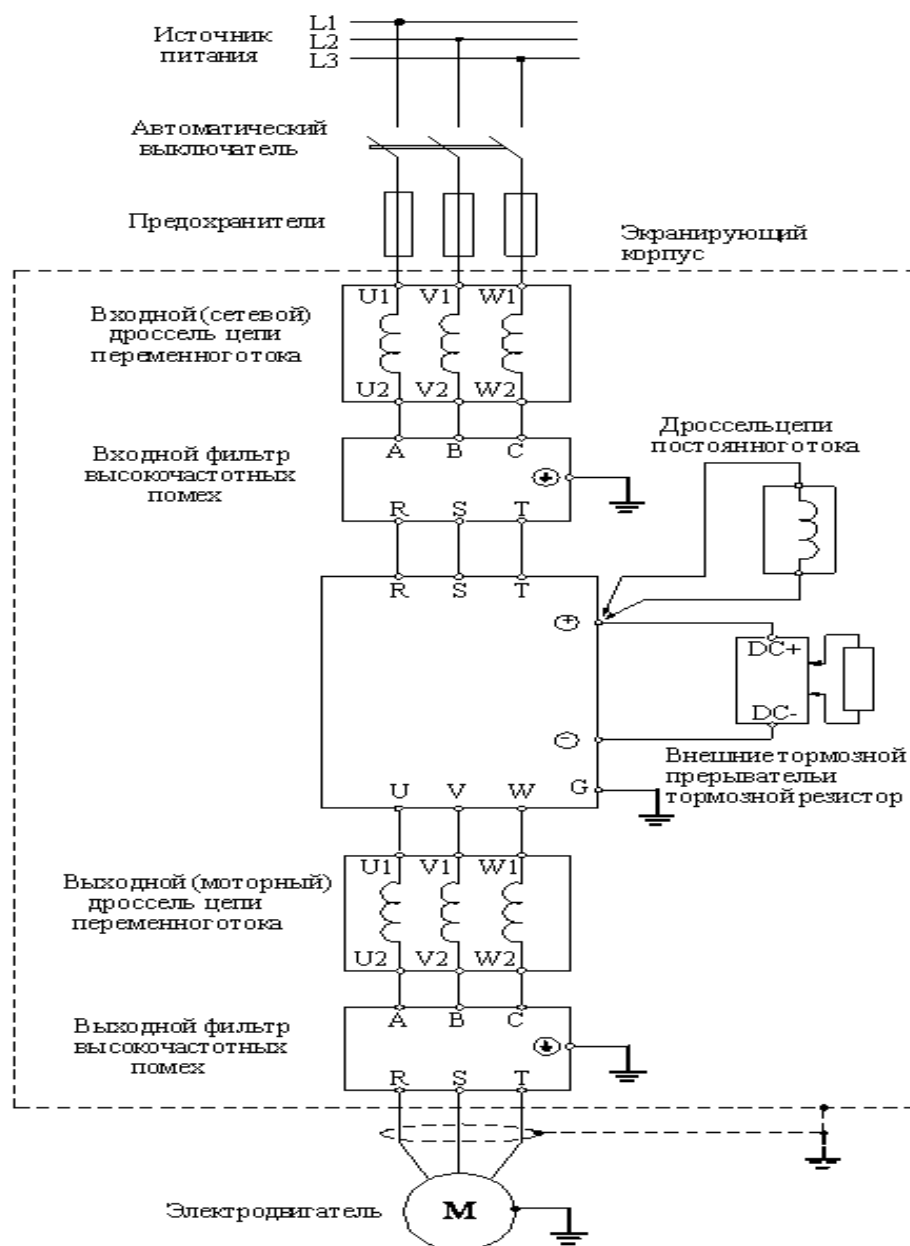


Рисунок 4.9 – Схема подключения периферийных устройств

4.5 Использование сетевого дросселя цепи переменного тока

Сетевой дроссель цепи переменного тока применяется для подавления гармоник (гармонических составляющих токов и напряжений) со стороны питающей сети, сводит к минимуму дополнительные тепловыделения, возникающие при работе преобразователя, и вероятность возникновения всевозможных сбоев в работе оборудования, вызываемых нестабильностью питающей сети. Рекомендуется устанавливать, если мощность питающей сети в десятки раз превышает мощность частотного преобразователя или при наличии в питающей сети помех от более мощных устройств. Использование сетевого дросселя цепи переменного тока существенно влияет на форму потребляемого преобразователем тока и значительно приближает его к синусоидальной, существенно ослабляет броски напряжения в сети при включении или выключении крупных потребителей, продлевается срок службы конденсаторов промежуточного контура, надежность преобразователя увеличивается в 5 - 7 раз.

При использовании сетевого дросселя цепи переменного тока ограничивается скорость нарастания тока, если преобразователь по каким либо причинам вышел из строя, при этом успевает сработать входной автомат отключения питания, и повреждения оказываются минимальными, и, как следствие, более дешевый ремонт.

Для нашей системы выбираем сетевой фильтр фирмы «Block» [6]:



Рисунок 4.10—Сетевой фильтр фирмы Block

Таблица 4.2 – Технические данные входного сетевого фильтра

Мощность ПЧ, к которому осуществляется данное подключение, кВт	Ток [А]	Индуктивность [мГн]
200	300	0,098

4.6 Использование входного фильтра высокочастотных помех

Входной фильтр высокочастотных помех применяется для снижения уровня ВЧ-электромагнитных помех, излучаемых в сеть при работе частотного преобразователя. Рекомендуется использовать, если электропитание преобразователя частоты осуществляется от одного ввода совместно с другими устройствами, чувствительными к электромагнитным помехам (контроллеры, радиооборудование, компьютеры и т.п.).

Для нашей системы вбираем фильтр ВЧ-помех ФЭМС- LC-185-200 [7]:



Рисунок 4.11– Фильтр ВЧ-помех ФЭМС- LC-185-200

Таблица 4.3 – Технические данные входного фильтра ВЧ-помех

Тип входного фильтра ВЧ-помех	Мощность частотного преобразователя, к которому осуществляется данное подключение, кВт	Ток, А
ФЭМС- LC-185-200	200	400.0

4.7 Использование моторного дросселя цепи переменного тока

Моторный дроссель цепи переменного тока применяется для частичного подавления гармоник (гармонических составляющих токов) высших порядков со стороны двигателя (на выходе частотного преобразователя). Рекомендуется использовать для повышения коэффициента эффективности потребления мощности преобразователем на стороне питающей сети, снижения скорости нарастания аварийных токов, компенсации емкостных токов длинных моторных кабелей, снижения выбросов напряжения на обмотках двигателя.

Рекомендуется использовать следующие моторные дроссели цепи переменного тока:

Для нашей системы выбираем сетевой фильтр фирмы « ELHAND TRANSFORMATORY»[8]:



Рисунок 4.12– Сетевой фильтр ED3S - 0,036/450

Таблица 4.4– Технические данные выходного сетевого фильтра ED3S - 0,036/450

Мощность ПЧ, к которому осуществляется данное подключение, кВт	Ток [А]	Индуктивность [мГн]
200	450	0,036

4.8 Использование выходного фильтра высокочастотных помех

Выходной фильтр высокочастотных помех применяется для ослабления уровня ВЧ-электромагнитных помех, генерируемых в выходной цепи работающего преобразователя частоты. Рекомендуется использовать, если в непосредственной близости с преобразователем частоты находятся другие устройства, чувствительные к электромагнитным помехам (контроллеры, радиооборудование, компьютеры и т.п.), а также если длина кабеля, соединяющего выход частотного преобразователя и двигатель, превышает 20 м.

Для нашей системы выбираем фильтр ВЧ-помех ФЭМС- LC-185-200 [7]:



Рисунок 4.13 –Фильтр ВЧ-помех ФЭМС- LC-185-200

Таблица 4.5 – Технические данные выходного фильтра ВЧ-помех

Тип выходного фильтра ВЧ-помех	Мощность частотного преобразователя, к которому осуществляется данное подключение, кВт	Ток, А
ФЭММ- LC-185-200	200	400.0

4.9 Меры по предотвращению индукционных помех

Как упоминалось выше, для снижения уровня ВЧ-помех на выходе частотного преобразователя, можно использовать фильтр подавления помех. В качестве дополнения следует отметить, что монтаж силовых кабелей следует выполнять в специализированных заземленных металлических лотках. Расположение данных лотков на расстоянии, по меньшей мере, в 30 см от сигнальных линий и цепей управления преобразователем значительно ослабит действие индукционных помех. Также рекомендуется монтировать частотный преобразователь (и все относящееся к нему периферийное оборудование) в специализированных экранирующих шкафах.

4.10 Использование дросселя цепи постоянного тока

Как уже отмечалось выше, применение дросселей, включаемых в цепи постоянного и переменного тока, позволяет подавить гармоники, что снижает резкие изменения (скачки) токов. Дроссели цепи постоянного тока подавляют гармоники высшего порядка эффективнее, чем дроссели цепей переменного тока. Совместное применение дросселей цепей и постоянного, и переменного тока является наиболее эффективным с точки зрения подавления гармоник.

Эффективность подключения дросселей в цепи постоянного и переменного тока представлена в таблице 4.6:

Таблица 4.6 – Эффективность подключения дросселей

Метод подавления гармоник	Относительное содержание гармоник %							
	5-ая гармоника	7-ая гармоника	11-ая гармоника	13-ая гармоника	17-ая гармоника	19-ая гармоника	23-ья гармоника	25-ая гармоника
Без дросселей	65	41	8.5	7.7	4.3	3.1	2.6	1.8
Дроссель в цепи постоянного тока	38	14.5	7.4	3.4	3.2	1.9	1.7	1.3
Дроссель в цепи переменного тока	30	13	8.4	5	4.7	3.2	3.0	2.2
Дроссели в цепи постоянного и переменного тока	28	9.1	7.2	4.1	3.2	2.4	1.6	1.4

Выбираем дроссели цепи постоянного тока марки ФПТ-142-3 [7]:

Таблица 4.7–Технические данные дросселя ФПТ-142-3.

Тип дросселя цепи постоянного тока	Мощность частотного преобразователя, к которому осуществляется данное подключение, кВт	Ток, А	Индуктивность, мГн
ФПТ-142-3	200	494.0	0.142

4.11 Выбор автоматического выключателя

Автоматические выключатели используются для эксплуатации в цепях переменного и постоянного тока, предназначены для проведения в номинальном режиме, для автоматического отключения тока при аварийных ситуациях, для пуска, защиты и отключения электрических двигателей. Как правило, автоматические выключатели работают в продолжительном режиме и выпускаются в исполнениях с разной степенью защиты от прикосновений и внешних воздействий (IP00, IP20, IP30, IP54).

Выбор автоматического выключателя для двигателя насоса (АИР315S2, $I_H = 278.55 \text{ A}$)

1. Определяем пусковой ток

$$I_{\text{ПУСК}} = 5 \cdot I_H = 5 \cdot 278.55 = 1392.75 \text{ A} \quad (3.1)$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{КР}} = 1,25 \cdot I_{\text{ПУСК}} = 1,25 \cdot 1392.75 = 1740.94 \text{ A} \quad (3.2)$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{ЭМ}} \geq I_{\text{КР}}. \quad (3.3)$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 8, т.е.

$$I_{\text{ЭМ}} = 8 \cdot I_{\text{НАВ}} = 8 \cdot 300 = 2400 \text{ A} \quad (3.4)$$

где $I_{\text{НАВ}} = 300 \text{ A}$ - номинальный ток автоматического выключателя.

$$2400 \text{ A} \geq 1740.94 \text{ A} .$$

1. Ток теплового расцепителя должен быть больше номинального тока электроприемника:

$$I_{\text{Т.Р.}} \geq I_H, \text{ т.е. } 300 \text{ A} \geq 278.55 \text{ A} . \quad (3.5)$$

Для защиты двигателя насоса выбираем автоматический выключатель EATON LZMC2-A300-I [9].



Рисунок 4.14 - Автоматический выключатель EATON L2MC2-A300-I

4.12 Выбор магнитных пускателей

Электромагнитный пускатель – коммутационный электрический аппарат, предназначенный для пуска, остановки и защиты трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором непосредственным подключением обмоток статора к сети и разрывом тока в них без предварительного ввода в цепь дополнительных сопротивлений.

Как к элементу систем автоматического управления к пускателям предъявляются высокие требования по износостойкости. Пускатели выпускаются в трех классах коммутационной износостойкости (А, Б и В).

Для пуска двигателя насоса необходимо использовать два нереверсивных магнитных пускателя. Один необходим для включения двигателя через преобразователь частоты. Его использование необязательно, но это обеспечит гальваническую развязку между двигателем и преобразователем частоты. Вторым магнитный пускатель является байпасным переключателем. Выбираем магнитные пускатели Schneider Electric EasyPact TVS(TeSys E) LC1E300F5 [10].



Рисунок 4.15 - Магнитный пускатель серии LC1E300F5

Пускатели этой серии используются в различных системах автоматизации.

Основные технические характеристики магнитного пускателя представлены в таблице 4.8:

Таблица 4.8 - Параметры магнитного пускателя

Тип магнитного пускателя	Номинальный ток	Ном. напряжение	Исполнение по назнач. и наличию реле
LC1E300F5	320	380 В	неревверсивный, с реле перегрузки

5 Имитационная модель электропривода со скалярным управлением

Для исследования процессов при частотном регулировании в самом электродвигателе и далее в системе регулируемого электропривода насоса пульпы используем метод имитационного моделирования.

Схемы набора имитационных моделей функциональных элементов электропривода составлены на основании структурных схем с помощью пакета *Simulink* системы *Matlab*.

Имитационная модель ЭП со скалярным управлением и обратной связью по току в канале регулирования напряжения представлена на рисунке 5.1.

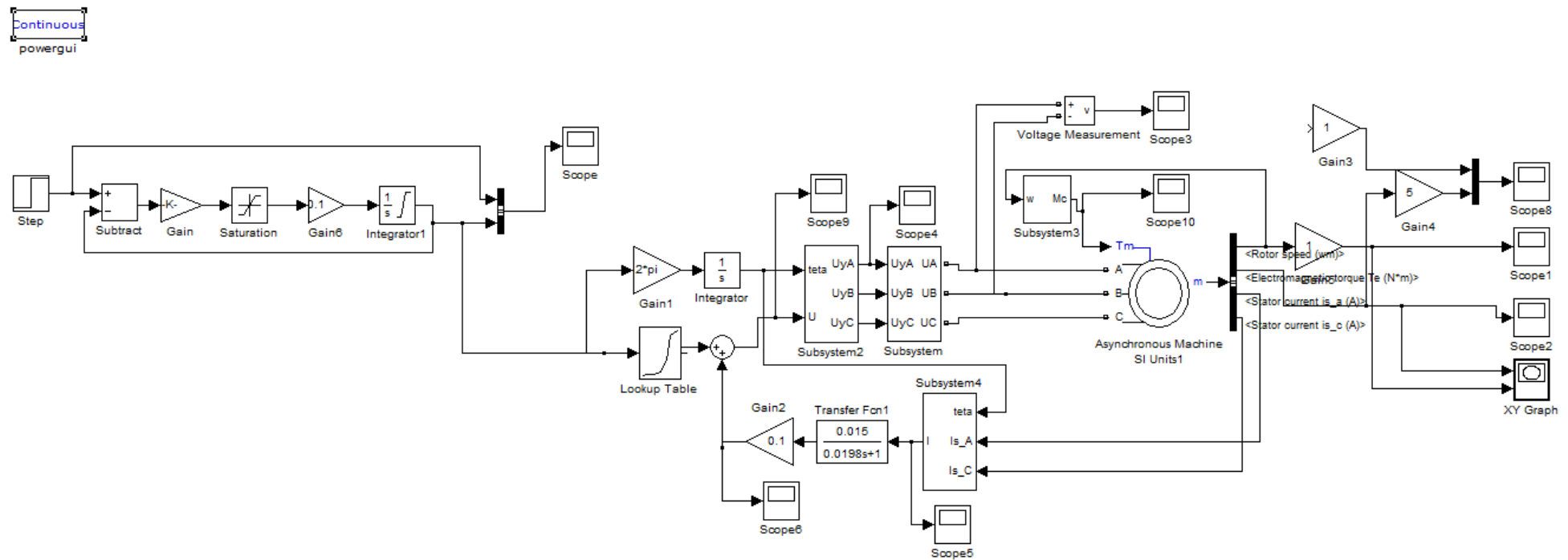


Рисунок 5.1 – Имитационная модель электропривода со скалярным управлением

Ввод параметров схемы замещения АД произведен через диалоговое окно (Рисунок 5.2), которое вызывается двойным щелчком по изображению двигателя.

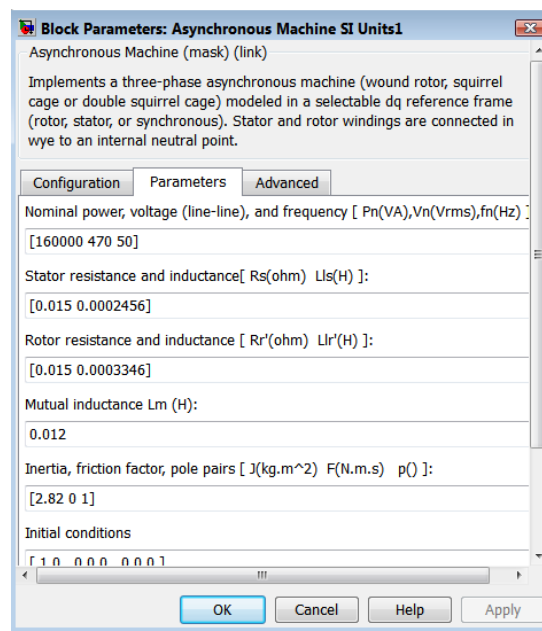


Рисунок 5.2 - Окно ввода параметров схемы замещения асинхронного двигателя

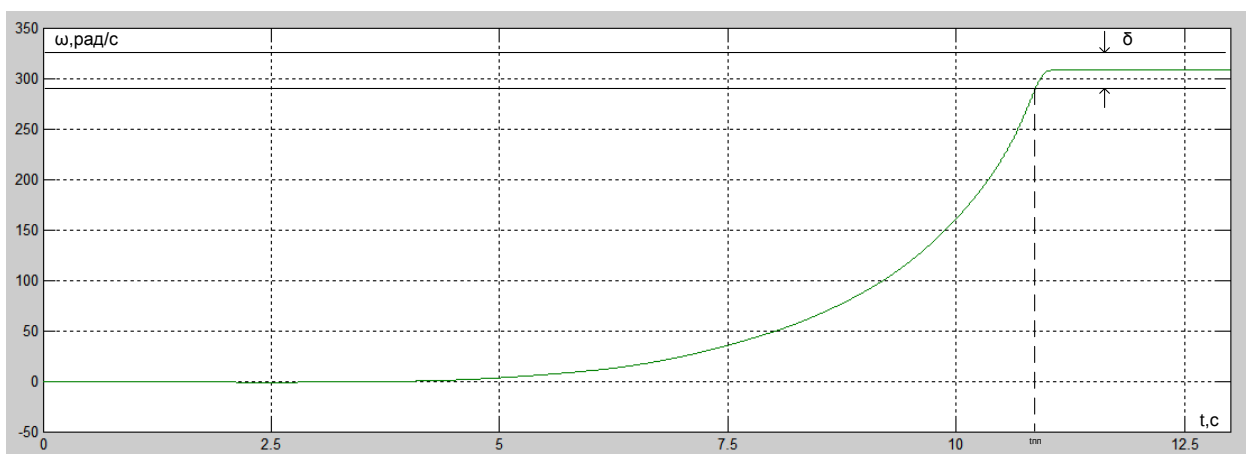


Рисунок 5.3 - График переходных процессов скорости ротора АД при частоте $f=50$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{\text{км}}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

перерегулирование – $\sigma = 0\%$,

время регулирования - $t_p = 10.6$ с,

установившееся значение скорости - $\omega_{\text{уст}} = 311.38$ рад/сек.

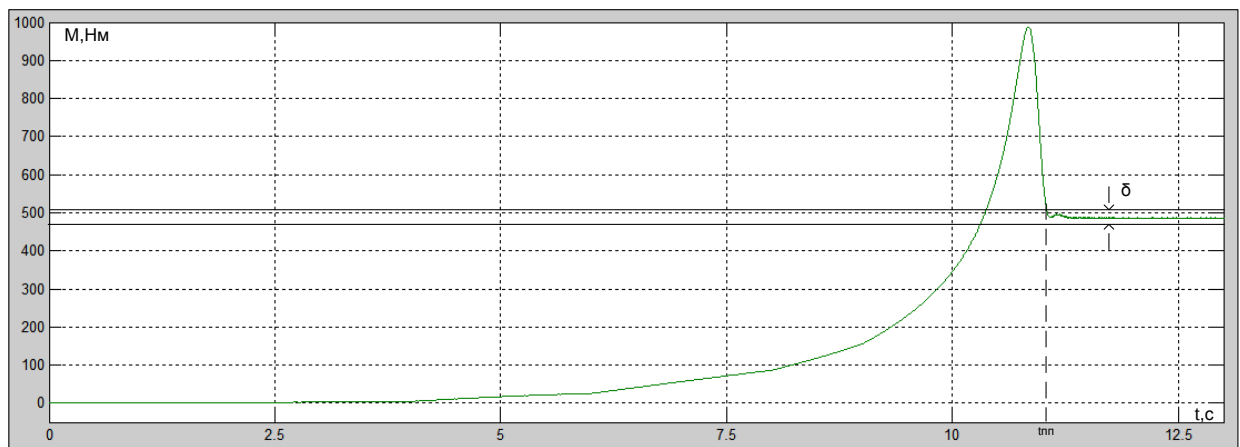


Рисунок 5.4 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при частоте $f=50$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{\text{км}}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

время регулирования - $t_p = 10.6$ с,

установившееся значение скорости - $M_{\text{уст}} = 493.1$ Нм.

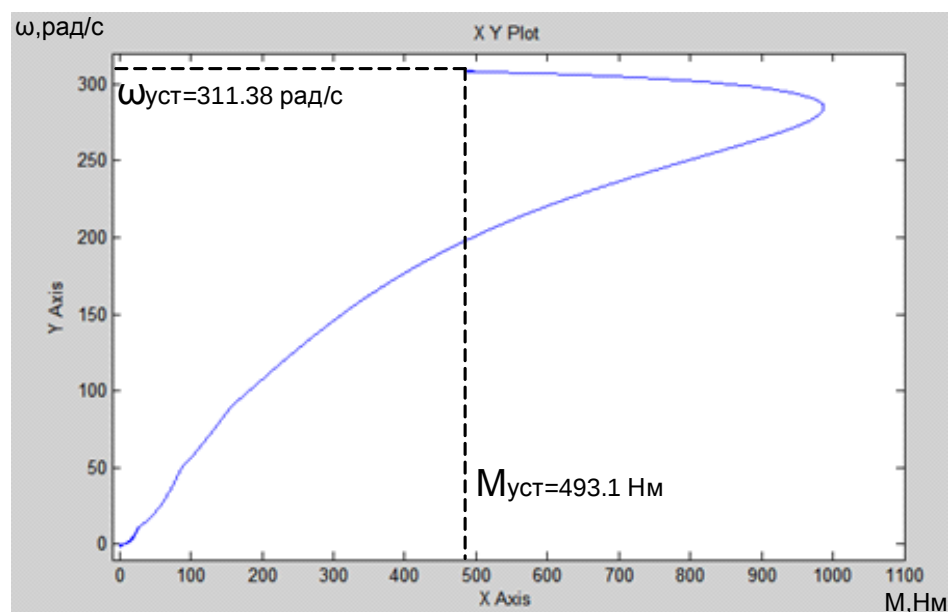


Рисунок 25 – График динамической механической характеристики при частоте $f=50$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{\text{км}}=0.1$

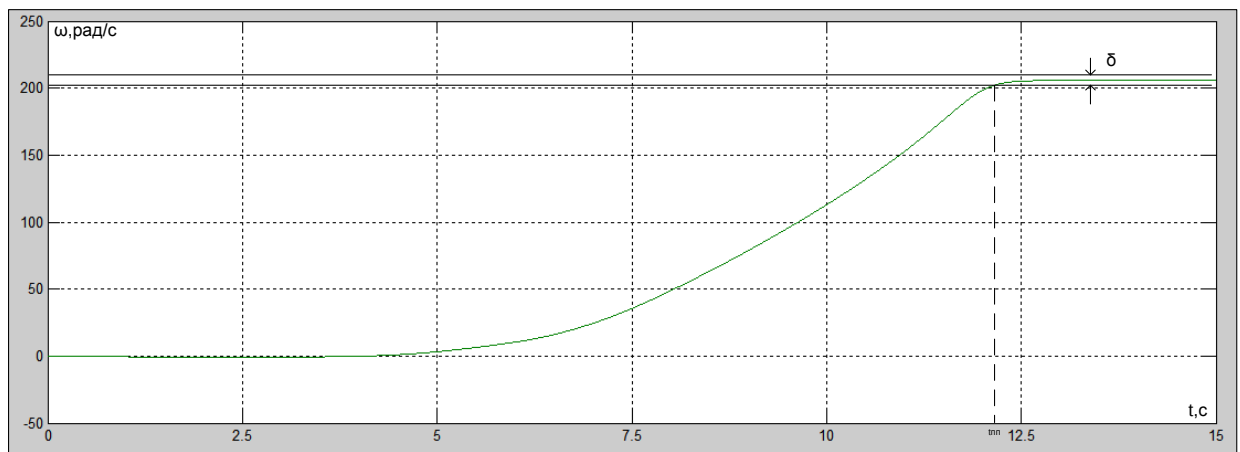


Рисунок 5.6 - График переходных процессов скорости ротора АД при частоте $f=34$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

перерегулирование – $\sigma = 0\%$,

время регулирования - $t_p = 12.3$ с,

установившееся значение скорости - $\omega_{уст} = 212.38$ рад/сек.

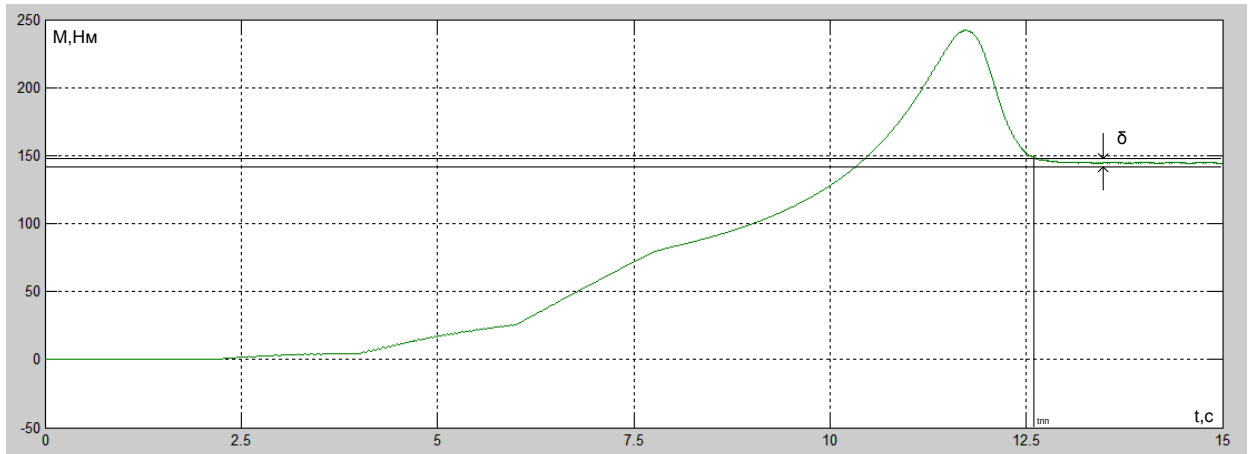


Рисунок 5.7 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при частоте $f=34$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

время регулирования - $t_p = 12.55$ с,

установившееся значение скорости - $M_{уст} = 148.4$ Нм.

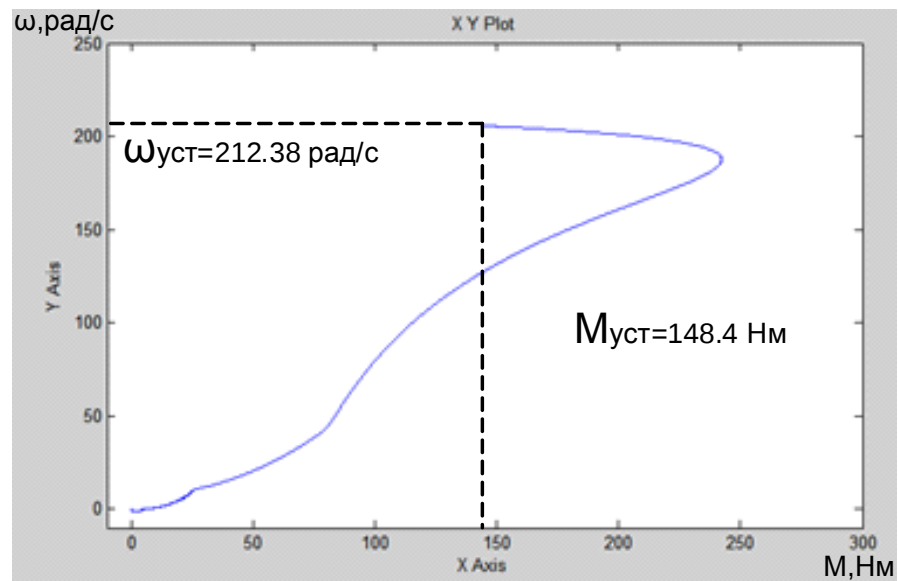


Рисунок 38 – График динамической механической характеристики при частоте $f=34$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

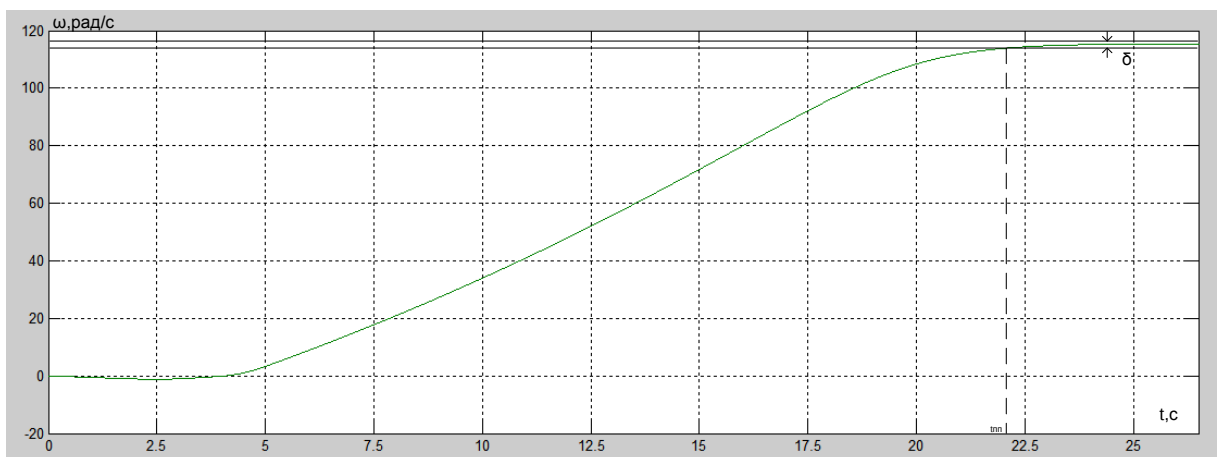


Рисунок 5.9 - График переходных процессов скорости ротора АД при частоте $f=20$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

перерегулирование – $\sigma = 0\%$,

время регулирования - $t_p = 22.3$ с,

установившееся значение скорости - $\omega_{уст} = 113.2$ рад/сек.

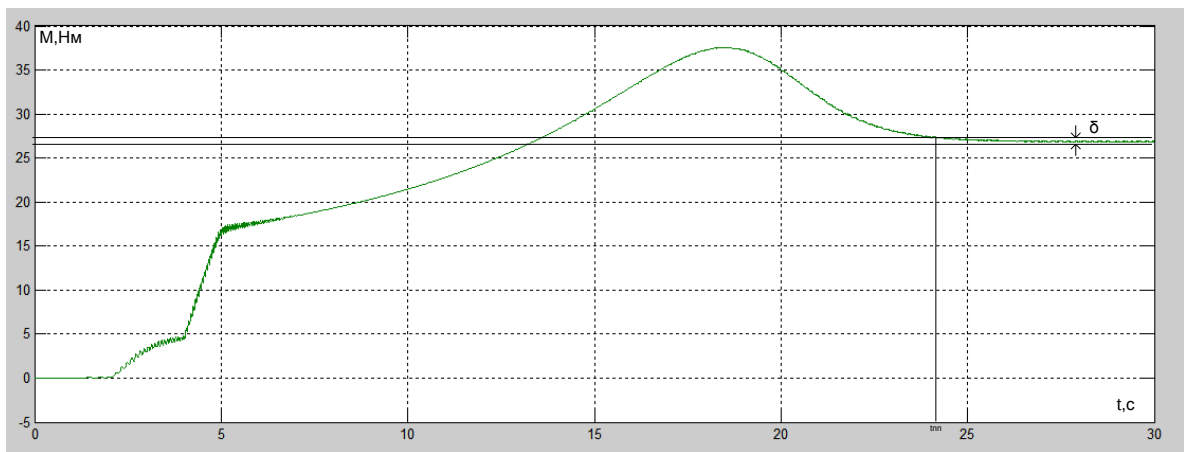


Рисунок 5.10 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при частоте $f=20$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

время регулирования - $t_p = 24.1$ с,

установившееся значение скорости - $M_{уст} = 27.2$ Нм.

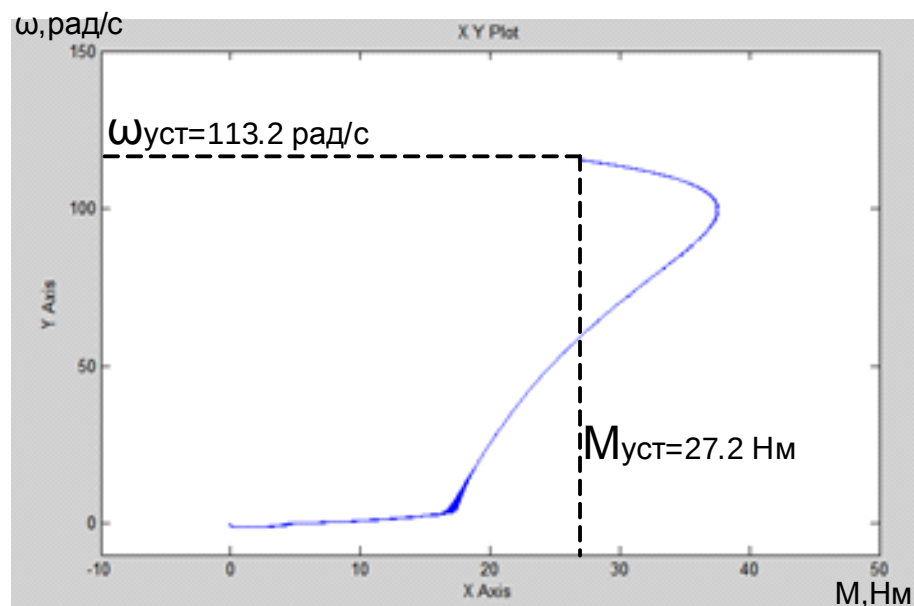


Рисунок 411 – График динамической механической характеристики при частоте $f=20$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

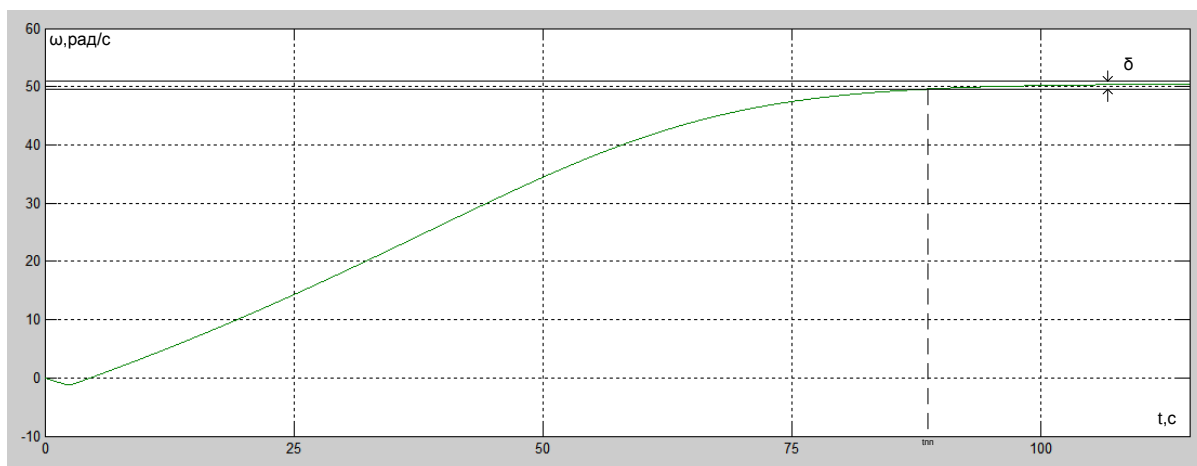


Рисунок 5.12 - График переходных процессов скорости ротора АД при частоте $f=10$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

перерегулирование – $\sigma = 0\%$,

время регулирования - $t_p = 84.6$ с,

установившееся значение скорости - $\omega_{уст} = 50.9$ рад/сек.

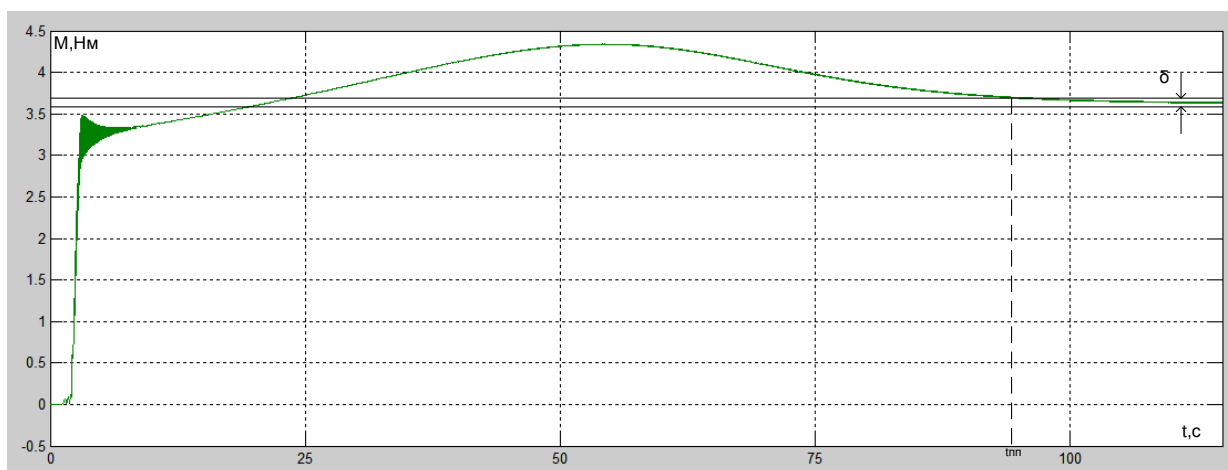


Рисунок 5.13 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при частоте $f=10$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

время регулирования - $t_p = 92$ с,

установившееся значение скорости - $M_{уст} = 3.7$ Нм.

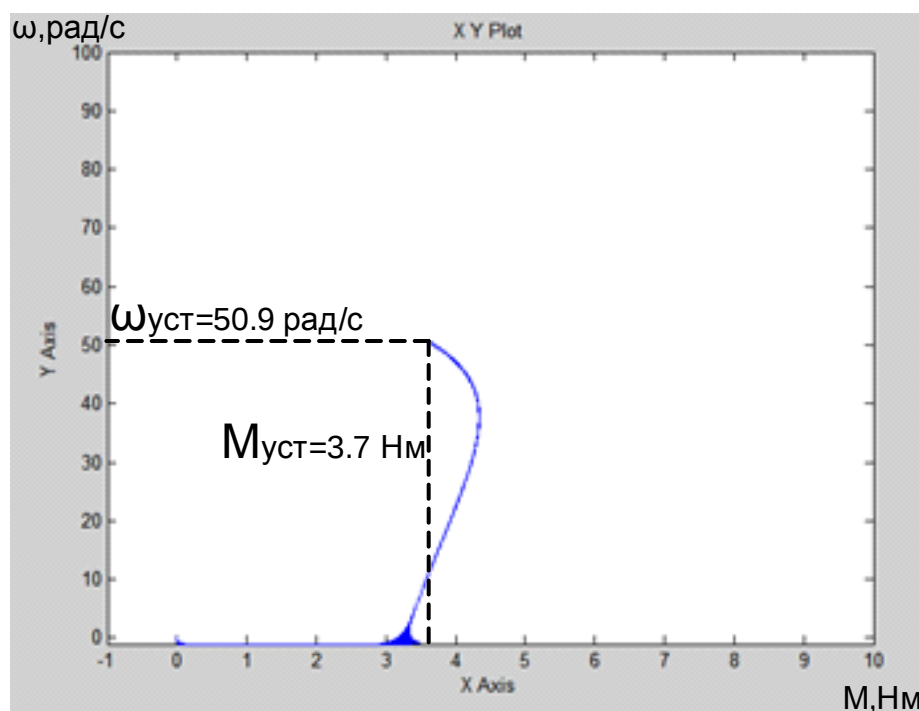


Рисунок 514 – График динамической механической характеристики при частоте $f=10$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.1$

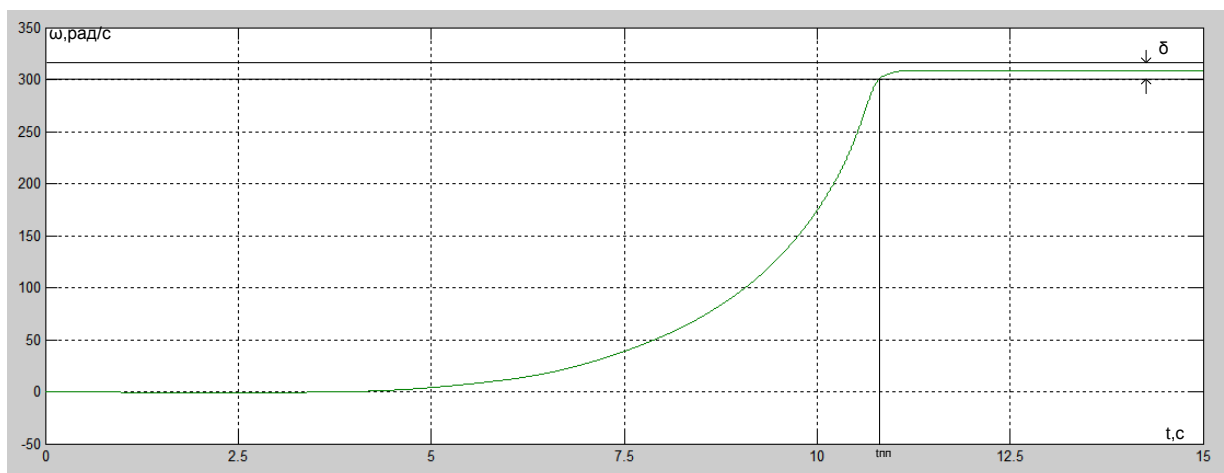


Рисунок 5.15 - График переходных процессов скорости ротора АД при частоте $f=50$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.25$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

перерегулирование – $\sigma = 0\%$,

время регулирования - $t_p = 10.6$ с,

установившееся значение скорости - $\omega_{уст} = 311.38$ рад/сек.

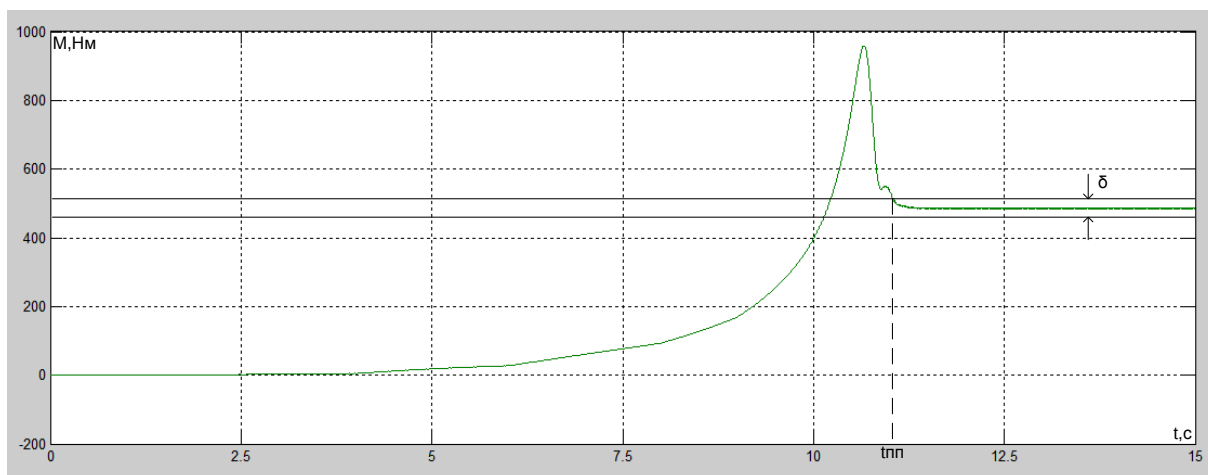


Рисунок 5.16 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при частоте $f=50$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.25$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

время регулирования - $t_p = 11$ с,

установившееся значение скорости - $M_{уст} = 493.1$ Нм.

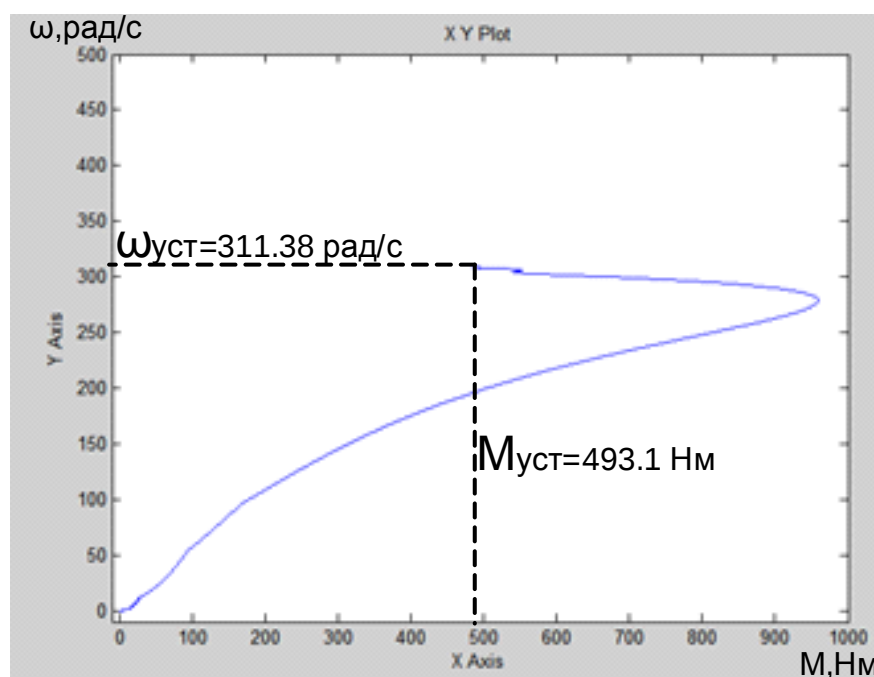


Рисунок 617 – График динамической механической характеристики при частоте $f=50$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{KM}=0.25$

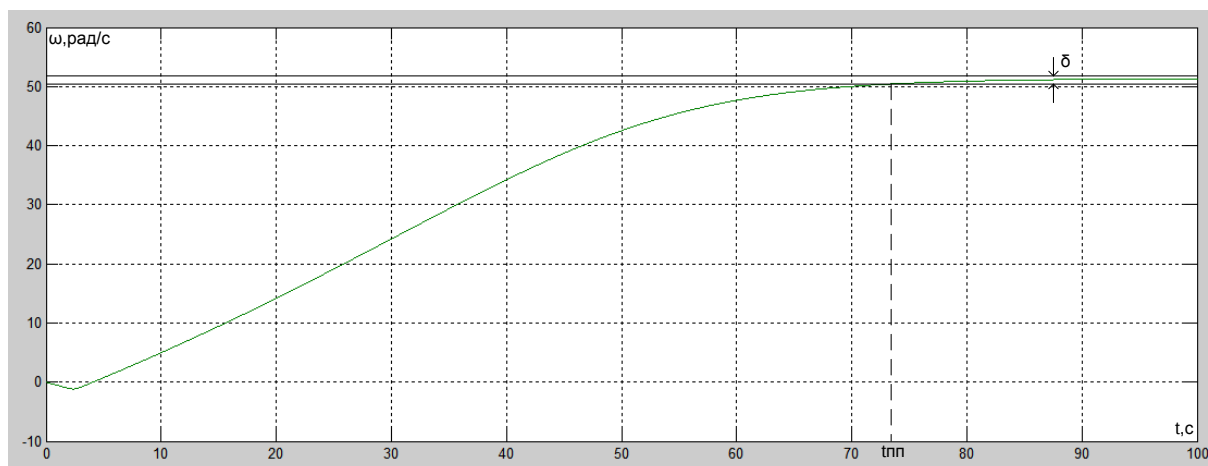


Рисунок 5.18 - График переходных процессов скорости ротора АД при частоте $f=10$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{\text{KM}}=0.25$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

перерегулирование – $\sigma = 0\%$,

время регулирования - $t_p = 73.6$ с,

установившееся значение скорости - $\omega_{\text{уст}} = 50.9$ рад/сек.

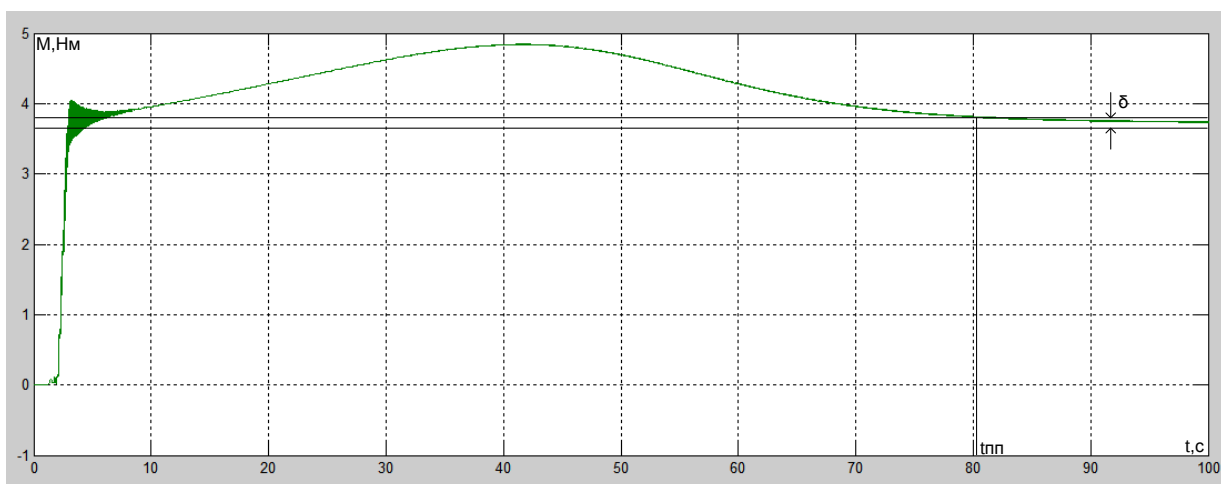


Рисунок 5.19 - График переходных процессов электромагнитного момента АД при частоте $f=10$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{\text{KM}}=0.25$

Основные показатели качества для характеристики скорости:

время регулирования - $t_p = 80.3$ с,

установившееся значение скорости - $M_{\text{уст}} = 3.7$ Нм.

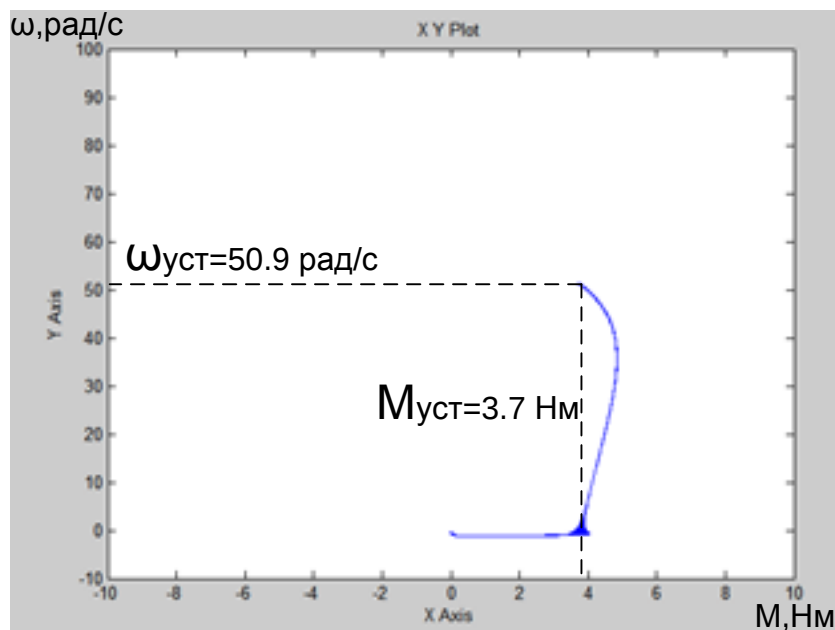


Рисунок 720 – График динамической механической характеристики при частоте $f=10$ Гц, коэффициент компенсации момента $K_{км}=0.25$

Из представленных графиков следует отметить, что при уменьшении частоты на входе частота вращения ротора АД и электромагнитный момент в установившемся режиме уменьшаются, а время переходного процесса увеличивается. При изменении коэффициента $K_{км}$ с 0,1 на 0,25 время переходного процесса при низкой частоте уменьшается, колебания динамической характеристики увеличиваются, электромагнитный момент и частота вращения не изменились. На основании этого можно сделать вывод, что спроектированная модель электропривода со скалярным управлением полностью справляется с поставленной задачей и отвечает условию технического задания.

Заключение

В данной магистерской диссертации была разработана, рассчитана и спроектирована система ПЧ - АД. Произведен расчет и выбор элементов силовой части и шламового насоса.

В моделирующей среде Matlab была разработана и исследована имитационная модель работы системы ПЧ - АД на различную частоту. Из полученных переходных характеристик видно, что при уменьшении частоты на входе частота вращения ротора АД и электромагнитный момент в установившемся режиме уменьшаются, а время переходного процесса увеличивается. При изменении коэффициента $K_{\text{км}}$ с 0,1 на 0,25 время переходного процесса при низкой частоте уменьшается, колебания динамической характеристики увеличиваются, электромагнитный момент и частота вращения не изменились. На основании этого можно сделать вывод, что спроектированная модель электропривода со скалярным управлением полностью справляется с поставленной задачей и отвечает условию технического задания.

В шестой части работы были рассчитаны затраты на покупку оборудования, зарплату инженерному персоналу, трудоемкость выполнения работ.

В заключительной главе рассмотрены вопросы, касаемые социальной ответственности, а именно: опасные и вредные факторы, защита окружающей среды расчет системы заземления.

В итоге, после завершения разработки, проектирования и моделирования, была получена система ПЧ - АД, которая обеспечивает решение всех поставленных задач, и соответствует всем требованиям, представленным в техническом задании.

Приложение А

Foreign sources

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГМ4Б	Демянков Денис Александрович		

Консультант кафедры ЭПЭО

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Краснов Иван Юрьевич	К.т.н., доцент		

Консультант-лингвист кафедры иностраннных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Пташкин Александр Сергеевич	к.ф.н., доцент		

Introduction

Nowadays, it is necessary to move big streams of various pulps for the majority of concentrating factories for ensuring technological processes. At the design of concentrating factories seek to use for movement of pulps fully self-flowing transport that is reached by an arrangement of factories on inclined platforms. However a variety of the used processes of enrichment directed to increase of extraction of metals from ore demands to move the most part of pulps from below up. The moved streams of a pulp possess very high abrasive properties, contain large particles of the crushed ore, have the very different range of the required pressure and giving of a pulp.

The used pumps for movement of pulps at concentrating factories have essential shortcomings and very small resource of time of trouble-free operation, in view of fast wear first of all of the rotating knots. It isn't possible to pick up the pump which parameters would correspond to the required pressure and giving, as a result the pump is operated on the inefficient models. It is necessary to conduct research of the system "the frequency converter - the asynchronous electric drive", to calculate pump parameters, to simulate structural and functional schemes of a control system of the pump.

1. Technological process of production of concentrates at concentrating factory

We will consider process of production of concentrated at concentrating factory.

The extracted ore arrives on a crushing site which is located in the main case No. 1 of concentrating factory where there is a crushing, preparation for further processing. This process is carefully controlled. The initial product has to meet necessary requirements.

After the preparatory crushing ore comes to the bunkers located in the main case No. 2 of concentrating factory where there is a process of receiving concentrates of zinc, lead, copper and others. We will consider this process in more detail. From the bunker the crushed ore arrives on the subbunker conveyor (3), at the same time, 80% of the arrived ore have to conform to requirements of technological process (to be in the diameter no more than 16 mm); then from the subbunker conveyor ore arrives on the feeding conveyor (3.1).

On the feeding conveyor the conveyor scales (16) intended for measurement of running mass of a product on the conveyor, the speed of the movement of a tape and productivity of the conveyor is located. In case the indicator of scales (16) deviates norm, then the speed of supply of ore from the bunker on the subbunker conveyor, and also the speed of rotation of the subbunker conveyor (3) is regulated.

From the feeding conveyor ore comes to a mill (2) where there is a crushing of ore to the size of 16 microns (to such sizes about 72-78% of ore of total are crushed). The ore crushed in a mill comes to the qualifier (4) where there is a rough division of thin discharge from sand. Sand go to a subdivision to a mill (2) on highways, and the discharge goes to the SUMP (5) where it is pumped over via the pump (6) in hydroclones (1) under a certain pressure where there is a secondary

(final) division of a product into sand and discharge. Further, in the pipeline (9) plums, corresponding to certain parameters, leaves on flotation for further enrichment, and via the pipeline (10) insufficiently crushed sand go for additional processing to a mill (2).

In the SUMP (5) there is a sensor (8) which controls product level. In case of a rejection of indications from the set parameter the sensor gives a signal on the frequency converter which regulates the supply of technical water by means of the pump (6). The sensor of pressure and density (7) located in hydroclones controls product density. In case of a deviation of this parameter the sensor of pressure and density (7) regulates water supply in the SUMP (5) by means of the gate (14).

For trouble-free operation of the pump (6), at his stop and start, via the gate (11) the highway conducting in the SUMP (5) is washed out, and via the gate (12) the pump (6) and the pipe of forcing (15) suitable to hydroclones is washed out (1). At the stopped pump (6) the shiberny gate (13) is closed. At the start of the pump (6) the system works in the following sequence:

1. The gate (11) opens, the highway conducting in the SUMP (5) is washed out, then the gate (11) is closed;

2. The gate (12) via which water comes to the pump (6) opens, at the same time exempting it from sand and silt, washing out a pipe of forcing (15), then the gate (12) is closed.

3. The shiberny gate (13) opens and the pump (6) is started. This system of washing is necessary for the prevention of a silting and a blockage of the pump (6) and highways conducting in the SUMP (5) and hydroclones (1) [1].

The scheme of process of classification of ores is submitted in the figure A.1.

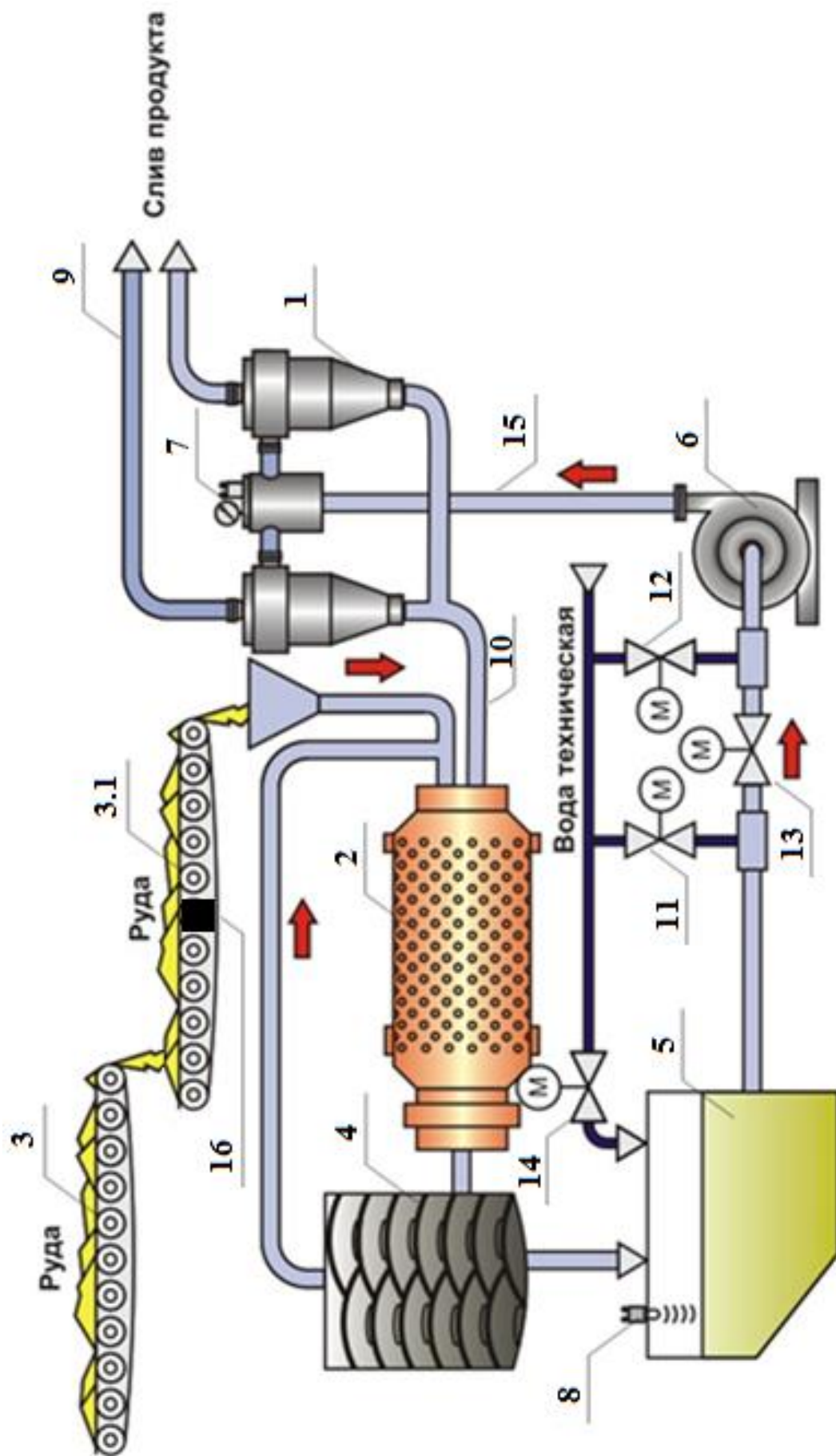


Figure A.1 - Scheme of process of classification of ores

2. Choice of electric equipment

2.1 Choice of the pump

By results of calculation of power and to basic data, we choose the slurry pump H 5570 of the Flygt company which parameters are presented in table A.1.

Table A.1 – Technical parameters of the pump H 5570

Brand of the pump	Delivery, m ³ /h	Head, m	Power, kW	Frequency, t/min
<u>H 5570</u>	До 1260	До 96	70-215	3000



Figure A.1 – Slurry pump H 5570

The hydraulic part of this pump, and also all wearing out details, are made of the strengthened high-chromium cast iron which provides full protection against wear. The driving wheel from high-chromium material with his more "dense" design, with the blades unbent back, provides a more uniform stream between the blades that reduces wear and by that minimizes hydraulic K.P.D'S decrease.

The drive and hydraulic part easily understand that provides fast access to wearing out details. There is no need for replacement of all hydraulic parts as the compound design of the case provides easy access to facing of a snail and her replacement [2].

2.2 Choice of the converter of frequency

For the AIR315S2 electric drive, we choose the converter of frequency of Danfoss VLT Aqua Drive FC-202 firm. The FC-202 converter provides effective and reliable regulation of pumps, fans, compressors when pumping various liquids and gases. The general technical characteristics of the converter are presented in figure 3.2 in the main part of the master thesis.



Figure A.2 – Converter of Frequency VLT Aqua Drive FC-202

The scheme of connection of power chains and chains of management is given below. In the mode of local management the control of the electric motor right after connection of power chains is possible.

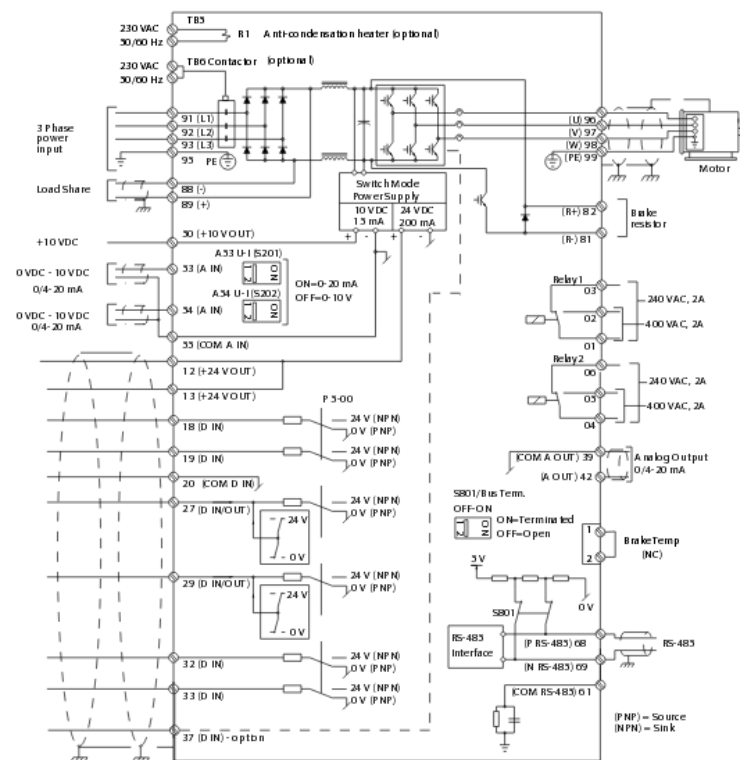


Figure A.3 Scheme of connection of the VLT Aqua Drive FC-202

2.3 System the frequency converter – the asynchronous engine

The function chart of the electric drive is submitted in figure A.6.

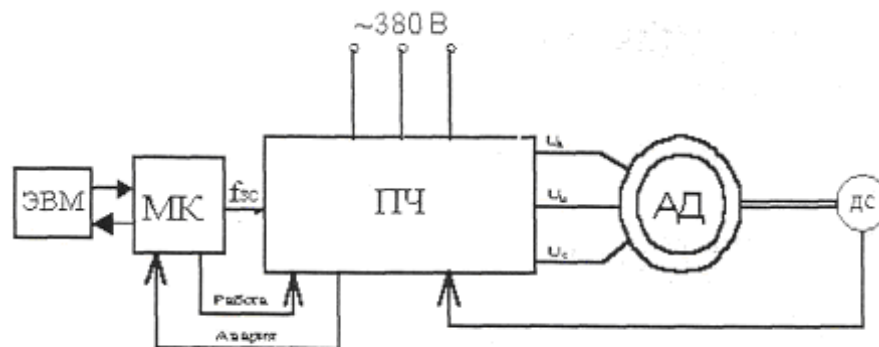


Figure A.4 – The simplified function chart of the electric drive

Functions of management of pitch are carried out by the microcontroller, in the parameters and architecture identical with 8khs196mn.

Exits of ShIM modulators of microprocessor system through the chips of IGBT drivers are connected to power keys of the inverter. Drivers carry out functions of coordination between IGBT transistors and the operating chains

of microprocessor systems. Besides, these devices realize protective functions, removing the operating impulses from power keys at the loss of the feeding tension and overloads on current.

The CoF power channel is brought together according to the scheme with an intermediate link of a direct current and the three-phase inverter of tension. On (Figure A.5) the corresponding function chart is submitted. The alternating voltage of a three-phase network, a phase A, B, C arrives on the bridge uncontrollable rectifier, VD1 diodes – VD6. The straightened tension smoothes out the high-capacity electric condenser With and arrives on the three-phase VT 1 inverter - VT 6 which keys the microprocessor system operates. The straightened tension smoothes out the high-capacity electric condenser With and arrives on the three-phase VT 1 inverter - VT 6 which keys the microprocessor system operates. Tension at the exit of the inverter is formed under the law of ShIM-modulation and HELL, the phases U, V, W arrive tostation windings.

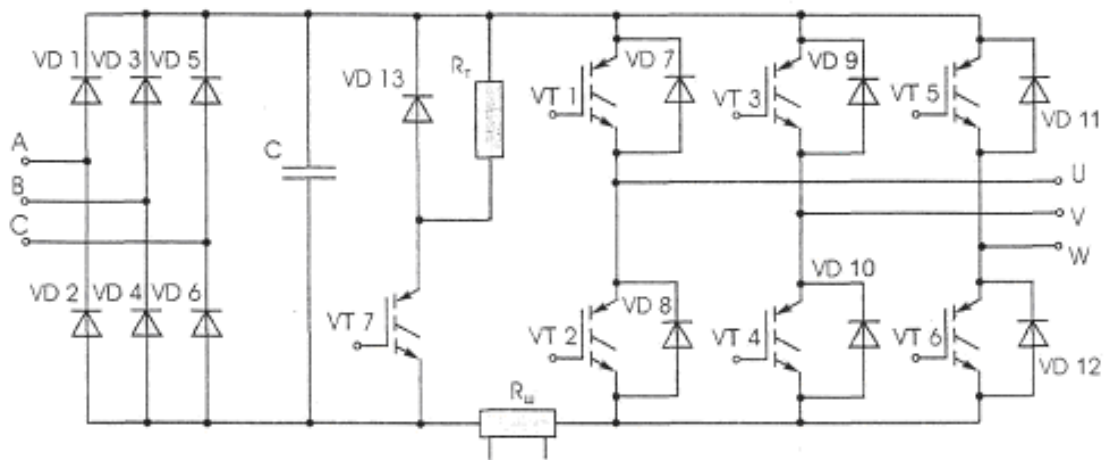


Figure A.5 – Scheme of the CoF power channel

As power keys of the inverter IGBT transistors with high load ability are used. For an exception of currents of EMF of a self-inducing the moments of switching and elimination of the return tension, parallel to IGBT transistors turn on high-speed VD 7 diodes - VD 13. The Rm shunt is switched on in a power chain for control of the size of the proceeding current and carries out protection

functions. Besides, in the course of operation of the converter there is a constant control behind the size of the straightened tension.

Structurally all elements of the converter are placed on two payments installed one above another in the plastic case. On the top cover the liquid crystal indicator and the control panel are located. Directly under a cover there is the main payment of management. On her components of microprocessor system and sockets for additional and external devices settle down.

On a power payment the power module with IGBT transistors, drivers, current sensors, condensers of the filter of a chain of the straightened tension, the power supply unit is placed.

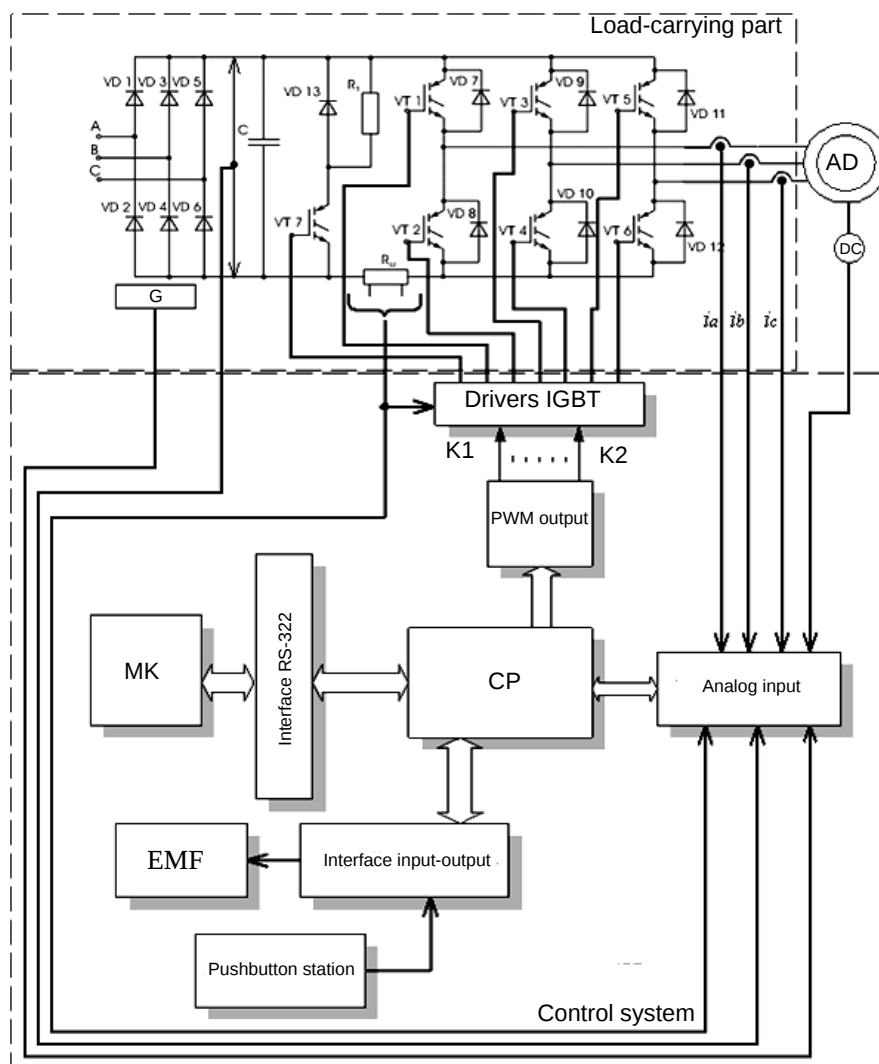


Figure A.6 – Function chart of the converter of frequency

The module includes rectifier diodes, inverter IGBT transistors, the shunt, the temperature sensor and an additional key for "discharge" of energy in the brake modes. This module is connected to a heat-removing radiator and is on the lower part of a payment of power elements. On the same radiator the resistor of braking and the temperature sensor for control of the thermal mode are placed.

2.4 Use of a network throttle of a chain of alternating current

The network throttle of a chain of alternating current is applied to the suppression of harmonicas (harmonious components of currents and tension) from a power line, minimizes the additional thermal emissions arising during the operation of the converter and probability of emergence of the various failures in the work of the equipment caused by the instability of a power line. It is recommended to establish if the power of a power line in tens of times exceeds the power of the frequency converter or in the presence in a power line of hindrances from more powerful devices. Use of a network throttle of a chain of alternating current significantly influences a form of the current consumed by the converter and considerably brings closer him to sinusoidal, significantly weakens the tension throws in a network at inclusion or switching off of large consumers, the service life of condensers of an intermediate contour lasts, reliability of the converter increases by 5 - 7 times.

When using a network throttle of a chain of alternating current the speed of increase of current is limited if the converter for any reasons has failed, at the same time the entrance automatic machine of power off manages to work, and damages are minimized, and, as a result, cheaper repair.

For our system we choose the surge protector of Block firm [3]:



Figure A.7-Surge protector of Block firm

Table A.2 – Specifications of the entrance surge protector

Power of CoF to which this connection is carried out, kW	Current [A]	Inductance [mH]
200	300	0,098

2.5 Use of the entrance filter of high-frequency hindrances

The entrance filter of high-frequency hindrances is used to decrease in the high-frequency hindrances of the hindrances radiated in a network during the operation of the frequency converter. It is recommended to use if power supply of the converter of frequency is carried out from one input together with other devices sensitive to electromagnetic hindrances (controllers, radio equipment, computers, etc.).

For our system we incorporate the filter of high-frequency hindrances $\Phi\text{ЭMC-LC-185-200}$ [4]:



Figure A.8 - Filter of high-frequency hindrances

Table A.3 – Specifications of the entrance filter of high-frequency hindrances

Type filter of high-frequency hindrances	Power of CoF to which this connection is carried out, kW	Current, A
$\Phi\text{ЭMC-LC-185-200}$	200	400.0

2.6 Use of a motor throttle of a chain of alternating current

The motor throttle of a chain of alternating current is applied to partial suppression of harmonicas (harmonious components of currents) of the highest orders from the engine (at the exit of the frequency converter). It is recommended to use for increase of effectiveness ratio of consumption of power the converter on the party of a power line, reduction in the rate of increase of emergency currents, compensation of capacitor currents of long motor cables, decrease in emissions of tension on engine windings.

For our system we choose the surge protector of ELHAND TRANSFORMATORY firm [5]:



Figure A.9 - The surge protector ED3S - 0,036/450

Table A.4-Specifications of the output surge protector ED3S - 0,036/450

Power of CoF to which this connection is carried out, kW	Current [A]	Inductance [mH]
200	450	0,036

2.7 Use of the output filter of high-frequency hindrances

The output filter of high-frequency hindrances is used for weakening of the high-frequency hindrances of the hindrances generated in an output chain of the working frequency converter. It is recommended to use it in close proximity with the converter of frequency there are other devices sensitive to electromagnetic hindrances (controllers, radio equipment, computers, etc.) and also if the length of the cable connecting an exit of the frequency converter and the engine exceeds 20 m.

For our system we incorporate the filter of high-frequency hindrances $\Phi\text{ЭMC-LC-185-200}$ [4]:



Figure A.10 - Filter of high-frequency hindrances

Table A.5 – Specifications of the entrance filter of high-frequency hindrances

Type filter of high-frequency hindrances	Power of CoF to which this connection is carried out, kW	Current, A
$\Phi\text{ЭMC-LC-185-200}$	200	400.0

2.8 Measures for prevention of induction hindrances

As it was mentioned above, for decrease in level of high-frequency hindrances at the exit of the frequency converter, it is possible to use the filter of suppression of hindrances. As addition it should be noted that installation of power cables should be carried out in the specialized grounded metal trays. The arrangement of these trays at distance, at least, in 30 cm from alarm lines and chains of control of the converter considerably will weaken action of induction

hindrances. Also it is recommended to mount the frequency converter (and all peripheral equipment relating to it) in the specialized shielding cases.

Conclusion

In this master thesis the PCh system - HELL has been developed, calculated and designed. Calculation and the choice of elements of power part and the slurry pump is made.

In the modeling Matlab environment the imitating model of work of the PCh system - HELL on various frequency has been developed and investigated. It is visible from the received transitional characteristics that at reduction of frequency on an entrance the frequency of rotation of a rotor HELL and the electromagnetic moment in the set mode decrease, and time of transition process increases. At change of coefficient K_{km} with 0,1 with a low frequency decreases by 0,25 time of transition process, fluctuations of a dynamic characteristics increase, the electromagnetic moment and frequency of rotation haven't changed. On the basis of it it is possible to draw a conclusion that the designed electric drive model with scalar management completely copes with an objective and answers a specification condition have been calculated.

In the sixth part of work costs of purchase of the equipment, a salary to engineering personnel, labor input of performance of work are considered.

In the final chapter the questions regarding social responsibility are considered, namely: dangerous and harmful factors, environment protection calculation of system of grounding.

As a result, after completion of development, design and modeling, the PCh system - HELL which provides the solution of all objectives has been received, and conforms to all requirements presented in the specification.

References

1. Concentrating factory [an electronic resource]. Access mode: http://sumz.umn.ru/ru/about/production/concentrating_fact/. (date of access: 12.04.2016)
2. Passport of a product [An electronic resource]: the database contains data on electrotechnical products, the JSC Elektromotor company – the access Mode: <http://www.aquanvk.ru/catalog/seriya-h-5500-flygt/G>. (date of access: 12.04.2016)
3. Passport of a product [An electronic resource]: the database contains data on electrotechnical products, the company Migelektro Online store – The access Mode: http://www.mege.ru/catalog/setevye_drosseli/lr3_40_4_300/. (date of access: 14.04.2016)
4. Passport of a product [An electronic resource]: the database contains data on electrotechnical products, the Stroytekhavtomatika company – The access mode: http://www.gu-sta.ru/index.php?doc=aks_filtr. (date of access: 14.04.2016)
5. Passport of a product [An electronic resource]: the database contains data on electrotechnical products, the Estudo company – the access Mode: http://www.estudo.ru/shop/UID_12970.html. (date of access: 17.04.2016)
6. Passport of a product [An electronic resource]: the database contains data on electrotechnical products, the Danfoss company – the access Mode: http://www.estudo.ru/shop/UID_12970.html. (date of access: 15.05.2016)
7. Chernyshev A.Yu., Koyain N. V. Design of electric drives: Educational and methodical grant. – Tomsk: TPU publishing house, 2005. – 120 p.