

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 95 страниц, 34 рисунка, 20 таблицы, 33 источника.

Ключевые слова: цепной конвейер, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, моделирование, статические и динамические характеристики.

Объектом исследования является регулируемый привод цепного конвейера, выполненный на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, получающим питание от преобразователя частоты.

Цель работы – исследование асинхронного регулируемого привода цепного конвейера, предназначенного для транспортировки бревен в лесопильный цех.

В выпускной работе рассмотрена упрощенная кинематическая схема цепного конвейера, сформулированы требования к электроприводу, произведен выбор силового и вспомогательного оборудования электропривода цепного конвейера, расчет статических и динамических характеристик.

В процессе работы использовалось как специальное программное обеспечение (MATLAB R2008), так и стандартные программы (Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio).

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2008 на листах A4.

Введение

В различных отраслях промышленности существует большое число механизмов, требующих в процессе нормальной эксплуатации регулирования скорости. Особую группу составляют устройства, производительность которых должна изменяться в соответствии с технологическими требованиями, что чаще всего и достигается регулированием скорости рабочих элементов этих устройств. Необходимость регулирования скорости возникает в тех механизмах, где требуется соответствующая скорость, определяющая большую производительность и высокое качество продукции.

Немаловажное значение приобретает рациональный режим работы конвейеров.

Применение экономичных и надежных способов плавного регулирования скорости этих устройств может дать существенное сокращение расхода электрической энергии.

Для обеспечения регулирования скорости исполнительного двигателя конвейера необходимо преобразовательное устройство, позволяющее плавно регулировать частоту и по соответствующему закону изменять при этом напряжение переменного тока.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и исследование асинхронного регулируемого привода цепного конвейера, предназначенного для транспортировки бревен в лесопильный цех с заданным законом управления, который будет соответствовать техническим условиям и требованиям.

1. Краткая характеристика технологического процесса

- Технологическая схема однопоточного лесопильного цеха с двумя одноэтажными рамами, типа Р-63-4А приведена на рисунке 1.1. так и с брусом. При распиловке вразвал необрезные доски от обеих рам, поступают к двухпильному обрезному станку 11 (Ц2Д-7А).

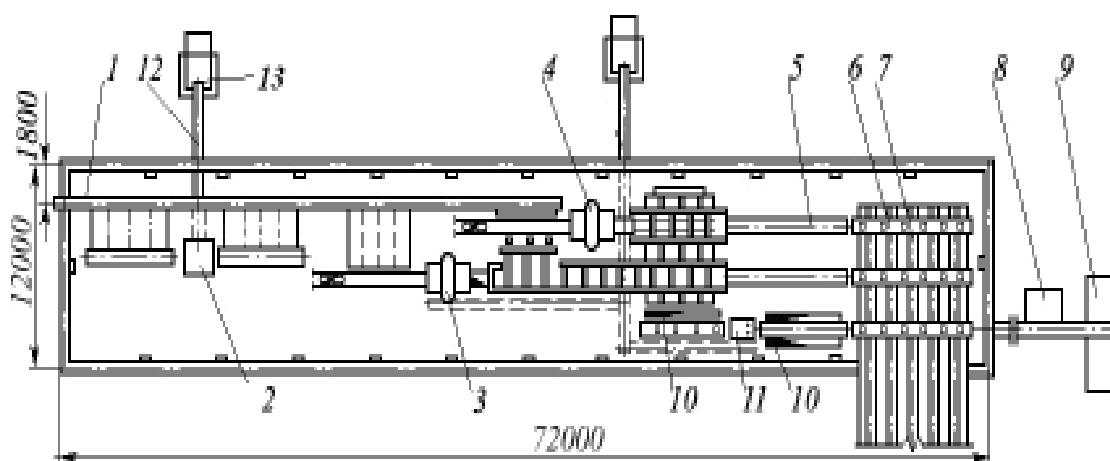


Рисунок – 1.1. Технологическая схема однопоточного лесопильного цеха с двумя одноэтажными рамами Р-63-4А:

1 – цепной транспортер; 2 – окорочный станок ОК-63-2; 3 – транспортер; 6 – продольный транспортер; 7 – навесные рольганги; 8 – поперечный транспортер; 9 – площадка для приема тонкомерной древесины; 10 – люки для сброски горбылей и реек; 11 – обрезной станок Ц2Д-7А; 12 – транспортеры для отходов; 13 – скиповый погрузчик;

Горбыли и рейки через люки 10 поступают на выносной транспортер 15 и далее в отделение 9, где устанавливается рубительная машина для 12. На рисунке 1.2 приведена технологическая схема лесопильного цеха с однопильными ленточнопильными станками. В соответствии с технологическим процессом пиловочные бревна транспортером 1 подаются в накопитель 2 вместимостью 5, а затем на делительный станок 6, брусья на брусоперекладчик 7, доски номинальных размеров на поперечный. Неделовой горбыль с поперечного транспортера сбрасывается в люк. Брус через брусоперекладчик 7 направляется в автоманипулятор 8, Необрезные доски транспортером 11 подаются на стол трех- или четырехпильного обрезного станка 12.

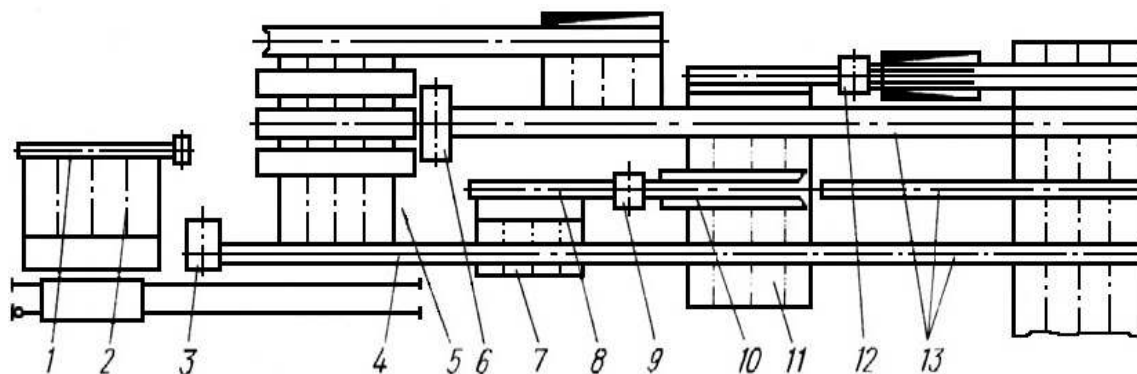


Рисунок -1.2. Схема линии на базе ленточнопильных станков:

К оборудованию, устанавливаемому перед бревнопильными станками, относят: продольные и поперечные цепные конвейеры (транспортеры), сбрасыватели бревен, впередирамные тележки, бревноподатчики, цепные брусоперекладчики, рольганги с центрирующими устройствами.

Продольные цепные конвейеры (бревнотаски) предназначены для подачи бревен в лесопильный цех, как представлено на рисунке 1.3



Рисунок 1.3. Процесс транспортировки бревен

Если в цехе установлены двухэтажные лесопильные рамы, то бревнотаска имеет, как правило, наклонный участок (не более 20°).

В зависимости от типа лесопильных рам устанавливают конвейеры БА-40, БА-100 (цифра указывает наибольший диаметр перемещаемых бревен, см), БА-3М, БА-4М (к рамам широкого провета).

Цепной конвейер широко применяется во всех отраслях промышленности для тяжелых и очень тяжелых режимов работы. Цепь

конвейера используется в качестве тягового органа, что позволяет просто и надежно закрепить несущие и ходовые элементы, обеспечить надежную передачу тягового усилия. Общий вид цепного конвейера представлен на рисунке 1.4

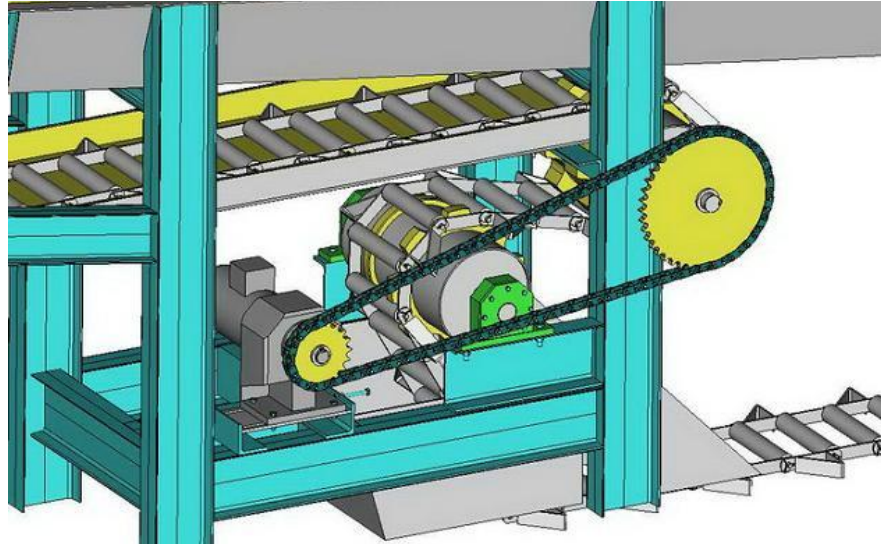


Рисунок 1.4. Общий вид цепного конвейера

Для легких режимов работы, простые пластинчатые цепи; для средних и тяжелых режимов втулочно-катковые, втулочно-роликовые цепи. Для организации непрерывного перемещения разнообразных штучных, а также насыпных грузов применяется цепной конвейер. Его основным рабочим органом являются специальные пластины, которые соединяются двумя параллельными цепями, выполняющими роль тяговых элементов, изготовленными из пластика или нержавеющей стали. Цепи движутся со скоростью, не превышающей 1,25 м/с. Настил же является грузонесущим элементом, в зависимости от перемещаемых грузов может иметь определенную конфигурацию и борта. Перемещение груза, зависимо от формы имеющегося настила, осуществляется под углом не более 60 градусов в горизонтальной плоскости. В зависимости от варианта исполнения цепного конвейера можно выделить его разновидности: одноручьевой и многоручьевой, наклонный, поворотный и прямой. При изготовлении таких видов транспортировочных устройств используются комплектующие отечественных и зарубежных производителей. Преимущество такого вида транспортировочных устройств –

возможность перемещения достаточно тяжелых грузов, горячих и разных по своей фактуре (пакеты, ящики, поддоны с разнообразным наполнением и прочее). Достоинством тяговых пластинчатых цепей для цепных конвейеров являются: простота изготовления на универсальном оборудовании и экономичность в массовом производстве, простота крепления рабочих органов, высокая точность изготовления, обуславливающая возможность применения их при больших скоростях движения; высокие прочность и износостойкость, обеспечиваемые термической обработкой и благоприятным расположением нагрузки в шарнирах. На рисунке 1.5 представлена упрощенная кинематическая схема электропривода цепного конвейера.

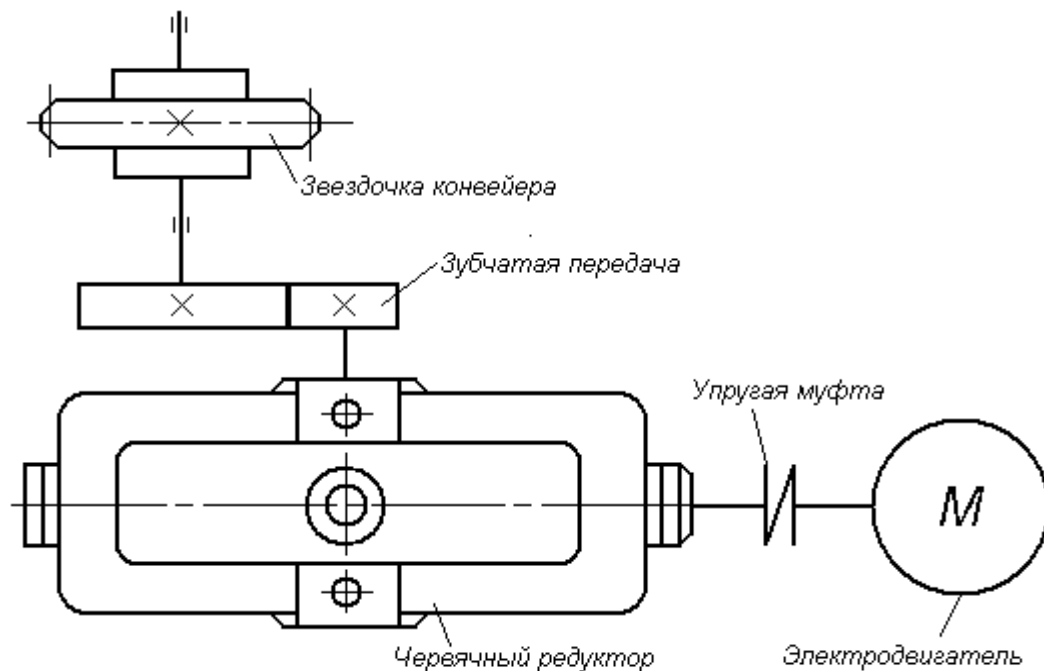


Рисунок -1.5. Упрощенная кинематическая схема привода цепного конвейера

Часовую производительность продольного цепного конвейера $A_{пр.к}$, м³/ч, определяют по формуле

$$A_{пр.к} = \frac{3600 V_s K_s K_p K_{м.о}}{l_{ср}} g_{ср},$$

где V_s - скорость движения цепи; м/с;

K_p - коэффициент использования рабочего времени, равный 0,6...0,7;

$K_{т.о}$ - коэффициент использования (заполнения) тягового органа,
равный 0,75...0,85;

$g_{ср.}$ - средний объем бревна, m^3 ;

$l_{ср.}$ - средняя длина бревна, м.

На рис.1.6 представлены зависимости длины конвейера от мощности приводного двигателя при определенной пропускной способности.

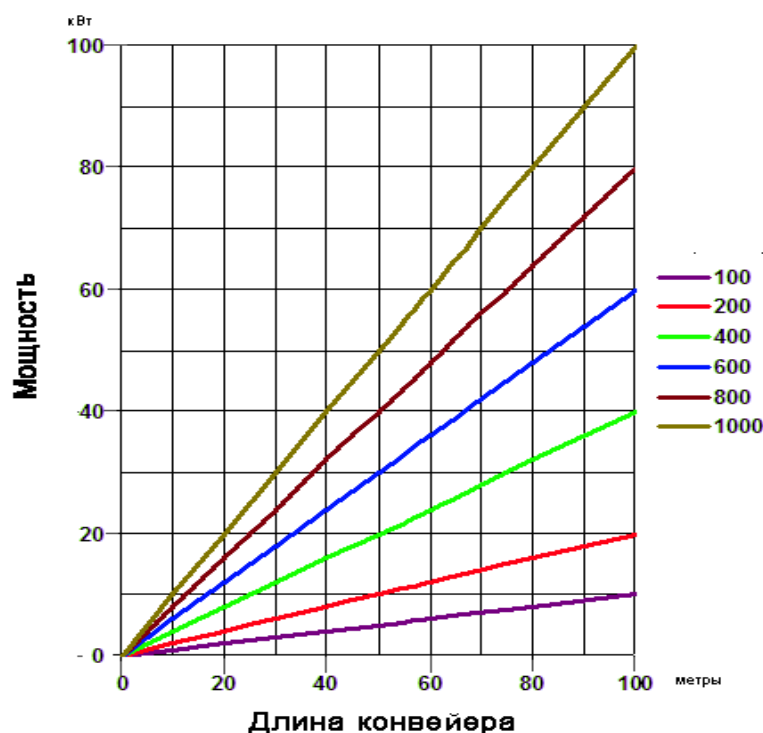


Рисунок – 1.6. Пропускная способность цепного конвейера тонн/час

2. Требования к электроприводу цепного конвейера

Жесткие требования в отношении безопасности и простоты обслуживания электрооборудования, надежности его работы.

3. Расчет и выбор силового оборудования регулируемого электропривода.

3.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Подъем груза с учетом силы трения, направленной вверх. Сила тяжести определяется массой груза и половинной массы цепи.

$$F_T = F_G \cdot \frac{\sin(\alpha + \rho)}{\cos \rho}$$

$$F_T = (2000 + 225) \cdot 9,81 \cdot \frac{\sin(0,5 + 11,3)}{\cos 11,3} = 4999H$$

Скольжение по наклонной плоскости, сила трения направленная вниз определяется:

$$F_T = F_G \cdot \frac{\sin(\rho - \alpha)}{\cos \rho} = 24034 \cdot \frac{\sin(11,3 - 0,5)}{\cos 11,3} = 4566H$$

КПД червячного редуктора зависит от передаточного числа и может быть самым различным. Поэтому рекомендуется принять КПД 70%. КПД цепной передачи принимается 0,9

Рассчитываем статическую мощность

$$P_C = \frac{F_{T\Sigma} \cdot V}{\eta} = \frac{9565 \cdot 0,65}{0,7 \cdot 0,9 \cdot 1000} = 9,87кВт$$

$$P_{кат} = (1,1 - 1,3) \cdot P_C = 1,1 \cdot 9,87 = 10,86кВт$$

По полученной расчётной мощности с учётом номинальной скорости из каталога выбираем исполнительный двигатель. В качестве приводного двигателя цепного конвейера выбираем асинхронный двигатель (АД) фирмы Lenze, параметры которого представлены в таблице 3.1.



Рисунок 3.1 - общий вид асинхронного двигателя

Таблица 3.1 – Технические данные АД

n_0 , об/мин	$P_{дв.н}$ кВт	При номинальной нагрузке			$s_K, \%$	$J_{дв}$, кг·м ²
		$s_H, \%$	$\cos \varphi_H$	$\eta, \%$		
1000	11	2.7	0.86	87.5	15	0.06

Момент нагрузки механизма цепного конвейера определяется по выражению:

$$M_{\text{мех}} = \frac{F_{T\Sigma} \cdot V \cdot 9,550}{n_n} = \frac{9565 \cdot 0,65 \cdot 9,550}{973} = 61,1 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

тогда при передаточном отношении редуктора $i = 4,8$, момент статической нагрузки будет равен:

$$M_C = \frac{M_{\text{мех}}}{\eta \cdot i} = \frac{61,1}{0,7 \cdot 0,9 \cdot 4,8} = 20 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Внешний момент инерции:

$$J_{\text{мех}} = 91,2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_H} \right)^2 = 91,2 \cdot (2000 + 450) \cdot \left(\frac{0,65}{973} \right)^2 = 0,0997 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Динамический момент

$$M_{\text{дин.Н}} = \frac{\left(J_{\text{ДВ}} + \frac{J_{\text{мех}}}{\eta} \right) \cdot n_H}{9,55 \cdot t_A} + \frac{M_{\text{мех}}}{\eta} = \frac{\left(0,65 + \frac{0,0997}{0,63} \right) \cdot 973}{9,55 \cdot 1,25} + \frac{61,1}{0,63} = 108,91 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Динамический момент должен быть меньше, чем 130% номинального момента, обеспечиваемого преобразователем и рассчитанного по номинальной мощности.

$$M_H = \frac{P_H \cdot 9550}{n_H} = \frac{11 \cdot 9550}{973} = 107,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\frac{M_{\text{дин.Н}}}{M_H} = \frac{108,91}{107,9} \cdot 100\% = 101\% < 130\%$$

3.2. Выбор электрооборудования для регулируемого электропривода

В качестве преобразователя электрической энергии выбираем преобразователь частоты фирмы «Danfoss» VLT серии 2880, общий вид которого приведен на рис.3.2. Технические данные выбранного преобразователя частоты приведены в таблице 3.2.



Рисунок 3.2 - общий вид преобразователь частоты

Таблица 3.2 – Технические данные преобразователя частоты

	VLT2880
Применение	Отопление, вентиляция, производство
Мощность/напряжение	3×380÷11кВт
Максимальная длина кабеля к двигателю	Экранир.-40м Неэкр.-75м
Корпус	IP20
Характеристика нагрузочного момента	Постоянный/переменный
Принцип управления	VVC-управление амплитудой и частотой путем компенсации нагрузки и скольжения
Максимальный ток	160% 1 мин 180%0,5 с
Максимальный момент(перегрузочная способность)	160% мин
Момент при нулевой скорости	-
Выходная частота, Гц	0,2÷132 1÷1000
Разрешение по частоте, Гц	±0,013
Диапазон регулирования скорости	
-разомкнутая система	1:10
-замкнутая	1:120
Точность поддержания скорости:	
-разомкнутая	n=150÷3600 об/мин ±20 об/мин
-замкнутая	n=30÷3600 об/мин ±7,5 об/мин

3.3. Выбор преобразовательного устройства, расчет и выбор основных силовых элементов для системы регулируемого электропривода

Для быстродействующих регулируемых электроприводов с широким диапазоном регулирования, высокой точностью и высокими энергетическими показателями весьма важно, чтобы преобразователь, питающий асинхронный двигатель, обладал малой инерционностью, двусторонней проводимостью и малым внутренним сопротивлением. Этим требованиям в полной мере отвечают транзисторные преобразователи частоты с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения, выполненные по мостовой схеме.

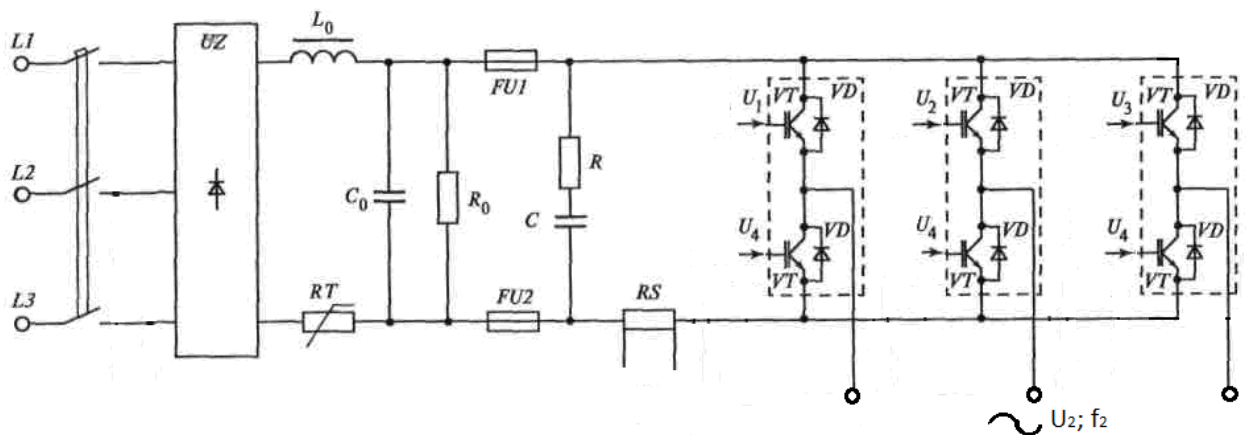


Рисунок 3.3. - Силовая схема преобразователя частоты регулируемого электропривода цепного конвейера

В состав силовой схемы преобразователя частоты входит:

- силовой выпрямитель UZ;
- силовой L_0C_0 фильтр звена постоянного напряжения;
- преобразователь выходного напряжения (транзисторный (IGBT) автономный инвертор напряжения);

3.3.1 Расчет транзисторного мостового инвертора с широтно-импульсной модуляцией

В настоящее время в системах управления двигателями наиболее широко применяются мощные полностью управляемые транзисторные ключи:

биполярные с изолированным затвором (IGBT), а также силовые модули на их основе. IGBT лишены основных недостатков биполярных (BJT) транзисторов:

- IGBT управляются напряжением, а не током, в связи с чем снижается потребление энергии по цепи управления;
- IGBT обладают лучшими частотными характеристиками по сравнению с биполярными (BJT) транзисторами, допускается работа на частотах переключения до 15 кГц.

Силовые модули обычно используются в цепях преобразователей переменного напряжения в постоянные (конверторы) и постоянного напряжения в переменное (инверторы).

Максимальный ток через IGBT ключи [2, с.80]:

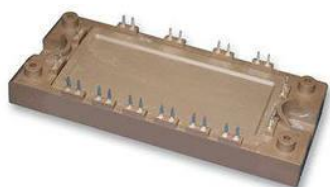
$$I_{c.\max} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot k_1 \cdot k_2}{\eta_{\text{дв.н}} \cdot U_{\text{дв.н}}} = \frac{11 \cdot 10^3 \cdot 1,3 \cdot 1,25}{0,875 \cdot 380} = 51,04 \text{ А},$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность двигателя, Вт; $k_1 = 1,2-1,5$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимой для обеспечения динамики ЭП.

Принимаем: $k_1 = 1,3$; $k_2 = 1,1-1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока. Принимаем $k_2 = 1,25$; $\eta_{\text{ном}} = 0,875$ - номинальный КПД двигателя.

Ключи IGBT выбираются с постоянным (номинальным) током коллектора $I_c \geq I_{c \max}$.

В качестве силового модуля выбираем интеллектуальный силовой IGBT-модуль (IPM) фирмы MITSUBISHI ELECTRIC типа 6MBi75S-120, рассчитанный на ток до 75 А и напряжение до 1200 В.



3.3.2. Расчет трехфазного мостового выпрямителя

Силовая цепь выполнена с использованием гибридных модулей, Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\left(\frac{I_{c.max}}{\sqrt{2}}\right) \cdot U_{\partial в.н} + n P_T}{U_d} = \frac{\left(\frac{51.04}{\sqrt{2}}\right) \cdot 0.86 + 6 \cdot 47.939}{513} = 40.382 \text{ А},$$

где, $n = 6$ – количество пар транзисторов и диодов в преобразователе;

$$U_d = U_{cc} = 513 \text{ В}$$

:



Рисунок 3.5. Диодный модуль

R_{on} – динамическое сопротивление полупроводникового прибора в проводящем состоянии;

U_j – прямое падение напряжения на полупроводниковом приборе, при

токе 50 мА принимается $\left(U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \right) \leq 1 \text{ В};$

$m_v = 6$ – число полупроводниковых приборов в схеме.

3.3.3 Тепловой расчет полупроводниковых приборов

Тепловой расчет полупроводниковых приборов заключается в расчете теплового сопротивления радиатора, необходимого для охлаждения прибора. Неизбежные потери от протекания тока приводят к нагреванию силовых полупроводниковых ключей. Для предотвращения перегрева и выхода из строя их закрепляют на охладителе или радиаторе с развитой поверхностью.

Схематично эта конструкция показана на рисунке 3.6. Источником тепловой энергии выступает кристалл полупроводникового ключа.

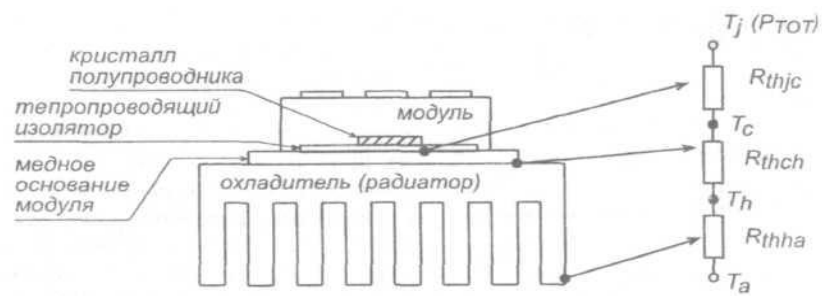


Рисунок 3.6. Электрическая модель системы охлаждения транзисторного модуля

Под воздействием разности температур разогретого кристалла и окружающей среды тепловая энергия двигается от кристалла к корпусу прибора, затем от корпуса поступает в охладитель и оттуда в окружающую среду. Этот процесс моделируют с помощью электрической схемы замещения. Здесь потери в ключевом элементе P_{TOT} эквивалентны току в электронных цепях, разность температур - электрическому напряжению. По аналогии с законом Ома для тепловой схемы замещения можно записать следующее соотношение:

$$P_{TOT} = \frac{\Delta T}{R_{th}}, \text{ где } \Delta T - \text{разность температур между характерными точками}$$

тепловой системы, R_{th} - тепловое сопротивление, коэффициент, характеризующий теплопроводность среды, передающей тепловую энергию.

Для традиционной системы выделяют три тепловых сопротивления:

Часто, когда используется не модуль, а традиционный полупроводниковый элемент, у которого корпус электрически связан с одним выводов (у транзисторов это обычно коллектор или сток, а у тиристоров - анод) и при этом необходимо электрически изолировать корпус от радиатора, используя теплопроводящую изолирующую прокладку.

Тепловое сопротивление переход-корпус $R_{th(j-c)}$ является паспортным параметром.

Сопротивление корпус-охладитель $R_{th(c-h)}$ зависит от прижимного усилия, типа корпуса, наличия и типа изолирующей прокладки, наличия силиконовой теплопроводящей смазки. Тепловое сопротивления корпус -

охладитель приводится в справочных материалах, а также может являться паспортным данным

Итак

$$R_{th(f-a)1} \leq \frac{100-50}{71,5} - 0,085; \quad R_{th(f-a)} \leq 0,61.$$

Температура кристалла IGBT, $^{\circ}\text{C}$, определяется по формуле

$$T_{ja} = T_c + P_Q \cdot R_{th(j-c)q} = 100 + 39,9 \cdot 0,39 = 115,5^{\circ}\text{C}$$

Где $R_{th(j-c)q}$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для IGBT части модуля, $^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$. При этом должно выполняться условие $T_{ja} < 125^{\circ}\text{C}$.

Температура кристалла обратного диода FWD, $^{\circ}\text{C}$,

$$T_{jd} = T_c + P_D \cdot R_{th(j-c)d} = 100 + 31,6 \cdot 0,7 = 122,1^{\circ}\text{C}$$

Где $R_{th(j-c)d}$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для FWD части модуля, $^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$. При этом должно выполняться условие $T_{jd} < 125^{\circ}\text{C}$.

$$, R_{th(c-f)2} = 0,06^{\circ}\text{C} / \text{Вт}.$$

Итак

$$R_{th(f-a)2} \leq \frac{100-50}{122,1} - 0,06; \quad R_{th(f-a)2} \leq 0,35$$

Температура кристалла, $^{\circ}\text{C}$,

$$T_{jDV} = T_c + \frac{P_{DV}}{n_D} \cdot R_{th(j-c)DV} = 100 + \frac{122,1}{6} \cdot 0,3 = 106,1^{\circ}\text{C}$$

Где $R_{th(j-c)DV}$ - термическое переходное сопротивление кристалл-корпус для выпрямителя, $^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$; n_D - количество полупроводниковых приборов в модуле. При этом должно выполняться условие $T_{jDV} < 140^{\circ}\text{C}$.

$$R_{th(f-a)} = \frac{R_{th(f-a)1} \cdot R_{th(f-a)2}}{R_{th(f-a)1} + R_{th(f-a)2}} = \frac{0,59 \cdot 0,35}{0,59 + 0,35} = 0,22^{\circ}C$$

.

Для точечного источника тепла, расположенного на пластине толщиной d , известно следующее выражение для теплового сопротивления охладитель - окружающая среда:

$$R_{th(f-a)} = \frac{3.3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \cdot C_f^{0.25} + \frac{650}{S} \cdot C_f,$$

где S - площадь пластины (см^2),

λ - коэффициент теплопроводности охладителя, Вт/К·см. Для некоторых материалов значение коэффициента теплопроводности приведены в таблице 2, [5].

C_f - поправочный коэффициент, учитывающий состояние поверхности и расположения радиатора в пространстве. Для вертикального положения: блестящая поверхность – 0,85, чернёная поверхность- 0,43. Для горизонтального положения, соответственно 1,0 и 0,5.

Таблица 3.3 Значение коэффициента теплопроводности для некоторых материалов.

Материал	λ , Вт/К·см
Алюминий	2,08
Медь	3,85
Латунь	1,1
Сталь	0,46
Слюда	0,006
Оксид бериллия	2,1

Как можно видеть из приведённого выше выражения, уменьшение теплового сопротивления, а значит и увеличение эффективности охлаждения, достигается путем использования радиаторов, изготовленных из материалов с максимальным коэффициентом теплопроводности и обладающих большей поверхностью охлаждения (в случае если используется естественное или принудительное воздушное охлаждение).

Определим минимальную площадь пластины:

$$S = \frac{650 \cdot C_f}{R_{th(f-a)} - \frac{3,3}{\sqrt{\lambda \cdot d}} \cdot C_f^{0,25}} = \frac{650}{0,22 - \frac{3,3}{\sqrt{2,08 \cdot 0,2}}} = 147,72 \text{ (см}^2\text{)} ;$$

Площадь имеющейся в наличии пластины составляет 128 см², поэтому для охладителя выбираем две пластины общей площадью $S_{\Sigma} = 2 \cdot 128 = 256 \text{ см}^2$.

Что в данных условиях является оптимальным для охлаждения IGBT – модуля.

3.3.4. Расчет фильтра

:

$$L_0 C_{01} = \frac{S+1}{(2\pi m f_s)^2} = \frac{12+1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 50)^2} = 3,659 \cdot 10^{-6}$$

$$L_0 \geq 3L_{0\min} = 3 \cdot 385,3 = 1,156, \text{ мГн}$$

$$L_{0\min} \approx \frac{0,013 U_{II}}{2\pi f_s I_d} = \frac{0,013 \cdot 380}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 40,832} = 385,3, \text{ мкГн}$$

Согласно полученному значению выбираем конденсатор К15-5-1600 В-2.8 мкФ – 1 шт.



Рисунок 3.7 - Общий вид конденсатора

3.3.5 Расчёт снаббера

Для снижения динамических потерь в силовых ключах при переключении и уменьшении величины выброса напряжения применяют вспомогательные цепи называемые снабберами или защитными демпфирующими цепями. Общие функции защитных цепей определяют следующим образом:

- уменьшение или ограничение выбросов напряжения на ключевом элементе в момент его выключения;
- ограничение значений dI/dt и dU/dt токов и напряжения силового ключа;
- уменьшение динамических потерь ключевого элемента;
- уменьшение электромагнитного шума путем демпфирования колебаний тока и напряжения в момент коммутации.

Базовыми схемами защитных цепей являются RC - и RCD -снабберы, которые показаны на рисунке 3.8.

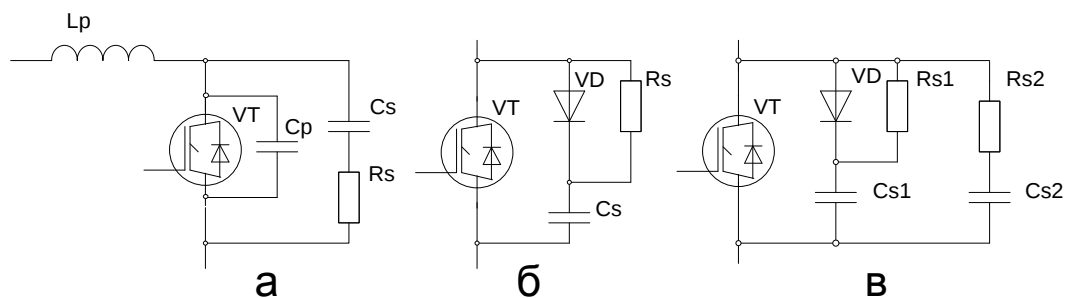


Рисунок 3.8. Типовые схемы защитных цепей: а- RC ; б- RCD ; в- комбинированная схема

Простейшей защитной цепью, позволяющей ограничить величину выброса напряжения на ключевом элементе в момент его выключения, является RC -цепь, подключенная параллельно (рисунок 3.8 а).

Для подавления осцилляции выбирают ёмкость конденсатора большей, чем выходная ёмкость ключа $C_s > C_p$. При первоначальном выборе задаются двойной величиной: $C_s = 2 \cdot C_p$. Сопротивление защитной цепочки рассчитывается таким образом, первоначальный скачок напряжения не превышал статической величины напряжения на ключевом элементе в закрытом состоянии:

$$R_s = \frac{E}{I_0}, \text{ где } I_0 - \text{ток ключа в момент выключения.}$$

Энергия, запасаемая в конденсаторе, определяется из известного соотношения

$W_p = 0,5 \cdot C_s \cdot E^2$ (без учёта выброса напряжения), и, учитывая заряд и разряд конденсатора за период работы ключа, мощность, выделяющаяся на резисторе, равна

$P_s \approx 2 \cdot W_p \cdot f_s$, где f_s - частота работы ключа. В зависимости от величины выброса реальная мощность будет несколько выше рассчитанной по этому выражению.

Так как расчёт и выбор силовых конденсаторов уже был произведён для нейтрализации индуктивности источника питания, то производить расчёт снаббера нет необходимости. Источник питания шунтируется конденсатором, ёмкость которого достаточна для снятия перенапряжений.

4. Выбор аппаратуры управления и защиты

Для управления АД электропривода цепного конвейера используется специализированный микроконтроллер фирмы Texas Instruments, так называемыми DSP – микроконтроллер, общий вид которого представлен на рис.4.1



Рисунок 4.1 - Общий вид микроконтроллера

Основными характеристиками выбранного контроллера TMS320F2812 являются:

- рабочая частота 150 МГц;
- питание 1,8–1,9 В для ядра, 3,3 В — для портов ввода/вывода и программирования Flash;
- встроенный JTAG;
- 16×16 и 32×32 MAC, 16×16 двойной MAC (multiply accumulate, умножение с накоплением, базовая операция в задачах ЦОС);

- Flash-память до 128 кбайт × 16;
- ROM-память до 16 кбайт × 16 секторов;
- внутренняя память SARAM (static asynchronous random access memory, статическая ОЗУ), разделенная на блоки L0 и L1 по 4 кбайт × 16, H0 8 кбайт × 16, M0 и M1 по 1 кбайт × 16;
- 1 кбайт × 16 ОТР (однократно программируемая память);
- конфигурируемый интерфейс к внешней памяти (только в F2812);
- программируемая PLL;
- встроенный задающий генератор;
- сторожевой таймер;
- 3 внешних прерывания;
- 128-битный защитный ключ, который защищает Flash/ROM/ОТР и SARAM от несанкционированного доступа;
- три 32-битных таймера;
- периферия для управления двигателями;
- последовательные интерфейсы SPI, 2×SCI, eCAN, McBSP;
- 12-битный АЦП, 16 каналов, со скоростью преобразования 80 нс/12,5 MSPS;
- до 56 выводов общего назначения (GPIO);
- режимы энергосбережения (IDLE, STANDBY, HALT);
- типы корпусов 179 BGA, 128/176 LQFP;
- температурный диапазон: –40...+125 °C;
- стоимость от \$18,40 в партии от 100 штук.

В качестве устройства защиты для силовой цепи ПЧ выбираем автоматический выключатель QF фирмы АВВ марки MS450-40 SST1SAM450000R1005, общий вид которого представлен на рис.4.1.,а также силовые предохранители



Рисунок 4.2 - Общий вид автоматического выключателя.

Предохранители выбираем по наибольшему току:

$$I_{\text{номвст}} \geq I_{\text{ном}} = 22 \text{ (A)}$$

$$I_{\text{номсвст}} \geq \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha} = \frac{110}{2,5} = 44 \text{ (A)}$$

где $\alpha = 2,5$ – для легкого пуска, по таблице П.5.8 [Л2. стр. 86] выбираем предохранитель ПН2–50 ($I_{\text{номвст}} = 50 \text{ A}$)

Для защиты входных портов микроконтроллера (порты АЦП, ЦАП) от перенапряжений, статического заряда можно применить схему, представленную на рис.4.3, основным элементом которой является TVS-диод.

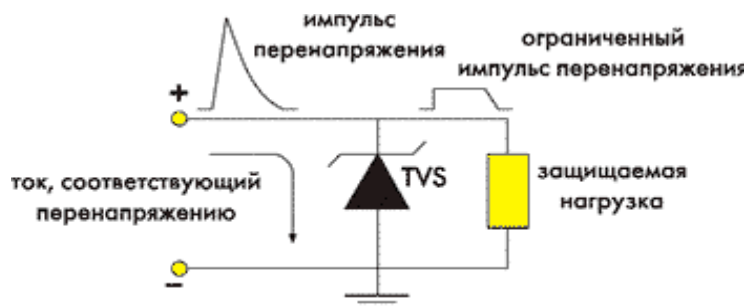


Рисунок 4.3. - Схема устройства защиты

4.1. Расчет и выбор типа и сечения питающего кабеля

1. Определяем номинальный ток двигателя:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \phi \cdot \eta} = \frac{11000}{1,732 \cdot 380 \cdot 0,86 \cdot 0,875} = 22 \text{ (A)}$$

2. Находим пусковой ток двигателя:

$$I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_{\text{ном}} = 5 \cdot 22 = 110 \text{ (A)}$$

Выбираем провод по наибольшему из токов:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{ном}}}{k_{\text{прок}}} = \frac{22}{1} = 22 \text{ (A)}$$

$$I_{доп} \geq k_3 \cdot \frac{I_{ном\text{ст}}}{k_{прок}} = 1,25 \cdot \frac{50}{1} = 62,5 \text{ (A)}$$

где $k_3 = 1,25$ по таблице 5.2 [1]

$$k_{прок} = 1.$$

Выбираем кабель марки ПВ-2 сечением 25 мм^2 и $I_{доп} = 100 \text{ (A)}$, внешний вид которого приведен на рис.4.4.



Рисунок 4.4. - Вид кабеля марки ПВ-2

5. Расчет статических характеристик для разомкнутой системы регулируемого электропривода

Из теории электрических машин известно, что в АД преобразование энергии происходит при несинхронном вращении ротора и магнитного поля, создаваемого обмоткой статора. В двигательном режиме разница частот вращения ротора и поля статора в большинстве случаев невелика, и составляет лишь несколько процентов.

Для исследования статических характеристик АД воспользуемся комплексной формой записи системы уравнений, которыми описывается состояние статорной и роторной цепи двухфазной модели АД

$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_1 &= \bar{I}_1 R_1 + j\bar{I}_1 X_1 + \bar{E}_1 \\ \bar{E}'_2 &= \bar{I}'_2 R'_{2\Sigma}/S + j\bar{I}'_2 X'_2. \end{aligned} \right\}$$

где, $\bar{U}_1$ – вектор напряжения, фазы статора;

$\bar{I}_1$ – вектор тока статора;

$\bar{E}_1$ – вектор ЭДС статора;

$\bar{E}'_2$ – вектор приведённой ЭДС ротора;

$\bar{I}'_2$ – вектор приведённого тока ротора;

$R'_{2\Sigma}$ – приведённое активное сопротивление фазы ротора;

S – абсолютное скольжение двигателя;

X'_2 – приведённое индуктивное сопротивление фазы ротора.

Вышеприведенной системе уравнений соответствует следующая Т-образная схема замещения фазы АД, которая приведена на рис. 5.1

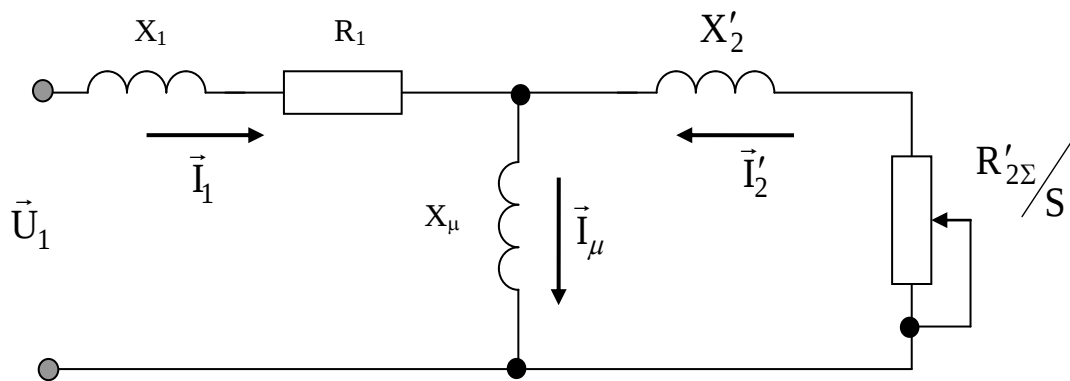


Рисунок 5.1 - Схема замещения фазы АД

5.1. Расчет естественных характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ регулируемого электропривода

Определим параметры Т-образной схемы замещения АД по его каталожным данным, приведенным в таблице 5.1 [7],

Таблица 5.1

P_n , кВт	ПВ, %	$\cos\varphi$, о.е	n_n , об/мин	η_n , %
11000	40	0.86	973	87,5
$J_{\partial\theta}$, кг·м ²	$k_i = \frac{I_n}{I_n}$	$k_{\max} = \frac{M_{кр}}{M_n}$	$k_n = \frac{M_{пуск}}{M_n}$	$k_{\min} = \frac{M_{мин}}{M_n}$
0.14	1,2	2,0	1,2	1

Ток холостого хода асинхронного двигателя можно найти по следующему выражению:

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos j_H \cdot \eta_H} = \frac{11000}{3 \cdot 220 \cdot 0.86 \cdot 0.875} = 22,148 A - \text{номинальный ток}$$

статора двигателя;

Из формулы Клосса определяем соотношение, которое необходимо для расчета критического скольжения:

$$s_K = s_H \frac{k_{\text{МАКС}} + \sqrt{(k_{\text{МАКС}})^2 [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\text{МАКС}} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\text{МАКС}} - 1)} =$$

$$= 0.027 \cdot \frac{2 + \sqrt{2^2 - [1 - 2 \cdot 0.027 \cdot 0.8 \cdot (2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0.027 \cdot (2 - 1)} = 0.106$$

где $\beta = \frac{R_1}{C_1 \cdot R_2}$ - значение коэффициента β находится в диапазоне 0,6 – 2,5, поэтому в первом приближении принимаем $\beta = 0,8$.

$$C_1 = 1 + \left(\frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} \right) = 1 + \frac{6,465}{2 \cdot 6 \cdot 22,148} = 1.024 ;$$

Определяем коэффициент:

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1H}^2 (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\text{МАКС}} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 (1 - 0.027)}{2 \cdot 1.024 \cdot 2 \cdot 11000} = 3.135 .$$

Тогда активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/s_K) C_1} = \frac{3,135}{\left(0.8 + \frac{1}{0.106} \right) \cdot 1.024} = 0.298 \text{ Ом} ;$$

Активное сопротивление статорной обмотки можно определить по следующему выражению

$$R_1 = C_1 R_2' \beta = 1.024 \cdot 0.298 \cdot 0.8 = 0.244 \text{ Ом}$$

Определим параметр γ , который позволит найти индуктивное сопротивление короткого замыкания $X_{\text{КН}}$:

$$\gamma = \sqrt{(1/s_k^2) - \beta^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.106^2}\right) - 0.8^2} = 9,43.$$

Тогда,

$$X_{KH} = \gamma C_1 R_2' = 9,43 \cdot 1.024 \cdot 0.298 = 2.88 \text{ Ом},$$

Для того чтобы выделить из индуктивного сопротивления X_{KH} сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, необходимо воспользоваться соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной, может быть рассчитано

$$X_{2H}' = \frac{0,58 X_{KH}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 2.88}{1,024} = 1.631 \text{ Ом},$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки может быть определено по следующему выражению

$$X_{1H} = 0,42 X_{KH} = 0,42 \cdot 2.88 = 1.21 \text{ Ом},$$

По найденным значениям переменных C_1 , R_2' , R_1 и X_{KH} определим критическое скольжение

$$s_K = \frac{C_1 R_2'}{\pm \sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1.024 \cdot 0.298}{\sqrt{0.244^2 + 2.88^2}} = 0.106.$$

Согласно векторной диаграмме ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме, равна

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U_{1H} \cos \phi_{1H} - R_1 I_{1H})^2 + (U_{1H} \sin \phi_{1H} + X_{1H} I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.86 - 0.244 \cdot 22.148)^2 + (220 \cdot 0.51 - 1.21 \cdot 22.148)^2} = 202.692 \text{ В}, \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{202,692}{6.465} = 31.354 \text{ Ом}.$$

Используя параметры схемы замещения, произведем расчет механических и электромеханических характеристик.

Электромеханическая характеристика при частотном управлении АД, определяется зависимостью приведенного тока ротора от скольжения

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

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

$f_{1*} = f_{1j} / f_{1H}$ - относительное значение частоты питающего напряжения.

Задаваясь значениями скольжения можно рассчитать соответствующее значение тока и воспользовавшись формулой, $\omega = \omega_0 (1 - s)$ получим соответствующее значение угловой скорости.

Полагая, что ток намагничивания двигателя имеет полностью реактивный характер, выражение для электромеханической характеристики, описывающей зависимость тока статора от скольжения, запишется следующим образом

$$I_{1j}(s) = \sqrt{I_0^2 + I_{2j}'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (2)$$

Так как с изменением частоты f_{1j} и напряжения статора U_{1j} ток холостого хода I_0 изменяется, то его значение для каждой из частот будем определять по выражению

$$I_{0j} = \frac{U_{1j}}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_{1H} + X_{\text{мн}}\right)^2 \cdot f_{1*}^2}}$$

Величина $\sin \varphi_2(s)$ из выражения (2):

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

Задаваясь скольжением $S = (-2 \div 2)$ и принимая во внимание, что для естественной характеристики $f_{1*} = 1$, по формулам (1) и (2) рассчитываем естественные электромеханические характеристики АД в двигательном и генераторном режимах (см. рис. 5.2), результаты расчета сведены в таблицу 5.2

Таблица 5.2

ω рад /с	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Γ_2 , А	76,1	75,71	75,03	73,51	68,41	29,63	65,43	75,55	76,96	77,31	77,42
I_1 , А	82,4	82,04	81,31	79,67	74,19	32,65	70,98	81,87	83,39	83,71	83,88

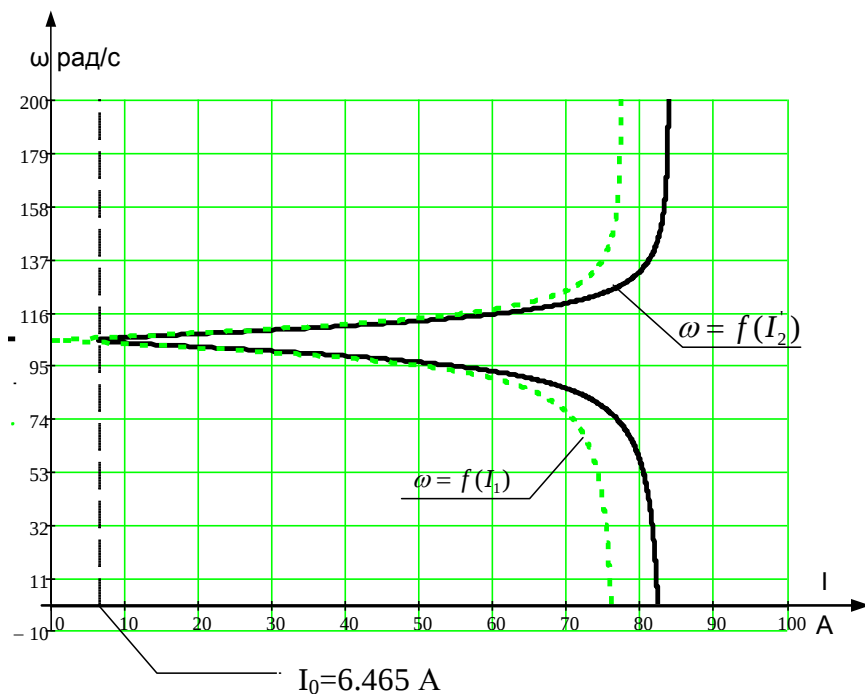


Рисунок 5.2. Естественные электромеханические характеристики АД

Механическую характеристику асинхронного двигателя при переменных значениях величины и частоты напряжения питания можно рассчитать по следующему выражению

$$M = \frac{3U_{1j}^2 R_2'}{\omega_{0j} s_j \left[X_{KH}^2 f_{1*}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{R_1 R_2'}{s_j X_{\mu H} f_{1*}} \right)^2 \right]}, \quad (3)$$

где $M_{кр}$ - максимальный момент, развиваемый АД

$$\begin{aligned} M_{кр} &= \frac{3U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\mu H} f_{1*}^2} \right)} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 104.72 \cdot \left[0,244 + \sqrt{(0,244^2 + 2.88^2 \cdot 1^2) \cdot \left(1 + \frac{0,244^2}{31.354 \cdot 1^2} \right)} \right]} = 221.166 \end{aligned}$$

где, $\omega_{0j} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{P} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 50}{3} = 104.72 \text{ c}^{-1}$ - синхронная угловая скорость;

U_{1j} - фазное напряжение обмоток статора асинхронного двигателя.

$$s_{Kj} = \pm R_2' \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu H} f_{1*}} \right)^2}{R_1^2 + X_{KH}^2 f_{1*}^2}} = \pm 0.298 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0.244}{31.354 \cdot 1} \right)^2}{0.244^2 + 2.88^2 \cdot 1^2}} = 0.106$$

Знак (+) означает, что критический момент и скольжение относятся к двигательному режиму, знак (-) – к генераторному режиму.

Расчет естественной механической характеристики проводим по формуле Клосса:

$$M(s) = \frac{2M_{\kappa}(1 + a \cdot s_{\kappa})}{\frac{s_{\kappa}}{s} + \frac{s}{s_{\kappa}} + 2 \cdot a \cdot s_{\kappa}}$$

где, $a = \frac{R_1}{R_2} = \frac{0.244}{0.298} = 0.819$ - коэффициент, равный отношению активного

сопротивления статора к активному приведенному сопротивлению ротора;

На рисунке 5.3 представлена естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ для асинхронного двигателя, результаты расчетов которой сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3

М, Н·м	48,1	53	58,9	66,3	75,8	88,32	105,4	129,86	165,7	211,7	165,7
ω рад/ с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

продолжение таблицы 5.3

М, Н·м	140,37	109,21	72,56	31,47	0
ω рад/с	101	102	103	104	104,72

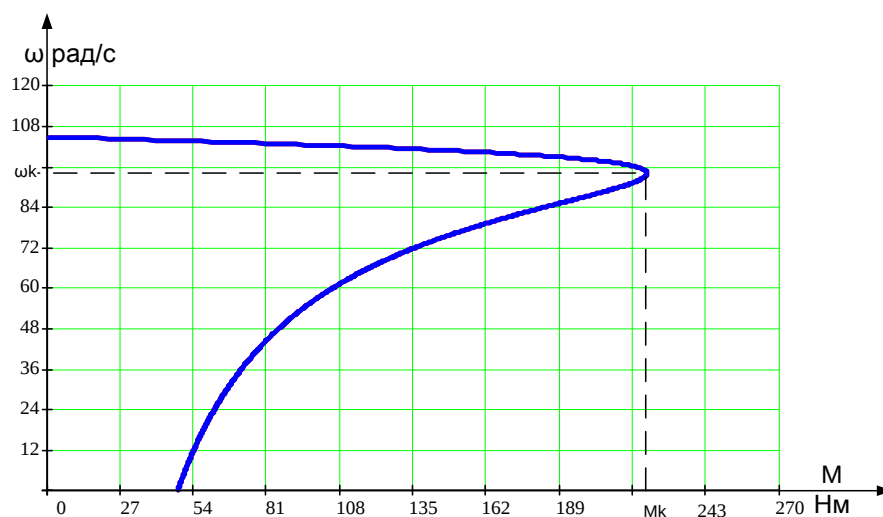


Рисунок 5.3. Естественная механическая характеристика АД

5.2. Расчет искусственных характеристик $\omega = f(M)$, $\omega = f(I)$ регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости

В соответствии с заданным диапазоном и выбранным законом частотного регулирования $\frac{U_{1*}}{f_{1*}^2} = const$ определяем угловую скорость АД при работе на первой ступени

$$\omega_{cm1} = \frac{n_{cm1}}{9,55} = \frac{97,3}{9,55} = 10,18 \frac{рад}{с}$$

Затем рассчитаем угловую скорость АД при работе на второй ступени

$$\omega_{cm2} = \frac{n_{cm2}}{9,55} = \frac{973}{9,55} = 101,88 \frac{рад}{с}$$

Для определения требуемой частоты напряжения, обеспечивающей заданный диапазон регулирования скорости, рассчитаем модуль жесткости естественной характеристики:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_k}{\omega_{0н} \cdot S_k} = \frac{2 \cdot 221,166}{104,72 \cdot 0,106} = 39,975$$

Определяя перепад скорости на регулировочных характеристиках при изменении нагрузки АД от $M = 0$ до $M = M_1$:

$$\Delta\omega = \omega_{01} - \omega_1 = \frac{M_1}{\beta} = \frac{105,052}{39,975} = 2,627 \frac{рад}{с}$$

и синхронные скорости (скорости идеального холостого хода) на регулировочных характеристиках:

$$\omega_{01} = \omega_1 + \Delta\omega = 10,18 + 2,627 = 12,807 \frac{рад}{с}; \quad \omega_{02} = \omega_2 + \Delta\omega = 101,88 + 2,627 = 104,51 \frac{рад}{с}$$

,

можно вычислить значения соответствующих частот питающего напряжения

$$f_1 = \frac{p \cdot \omega_{01}}{2 \cdot \pi} = \frac{3 \cdot 12,807}{2 \cdot 3,14} = 6,117 \text{ Гц}$$

$$f_2 = \frac{p \cdot \omega_{02}}{2 \pi} = \frac{3 \cdot 104,51}{2 \cdot 3,14} = 47,982 \text{ Гц}.$$

Тогда в соответствии с законом частотного регулирования $\frac{U_{1*}}{f_{1*}} = const$

напряжение на регулировочных характеристиках будет следующим:

$$U_1 = 4,4 \cdot f_1 = 4,4 \cdot 6,117 = 26,91 \text{ В}$$

$$U_2 = 4,4 \cdot f_2 = 4,4 \cdot 47,982 = 211,92 \text{ В}$$

Воспользовавшись выражениями (1), (2), (3) рассчитаны значения соответствующих величин, приведенные в таблице 5.4, по которым построены естественные и искусственные механические и электромеханические характеристики АД электропривода цепного конвейера для заданного диапазона регулирования скорости, представленные соответственно на рис.5.4, 5.5 и 5.6

Таблица 5.4

М _{сг1} , Нм	127	135	143,9	152,6	161,2	168,3	171,7	166,8	145,4	93,4	0
ω, рад/с	0	2,58	5,173	7,76	10,34	12,93	15,59	18,10	20,69	23,2	25,8
М _{сг2} , Нм	51,8	57,3	64,09	72,58	83,55	98,24	118,63	147,9	189,3	218	0
ω, рад/с	0	9,65	19,31	28,97	38,63	48,29	57,951	67,95	77,26	86,9	96,8

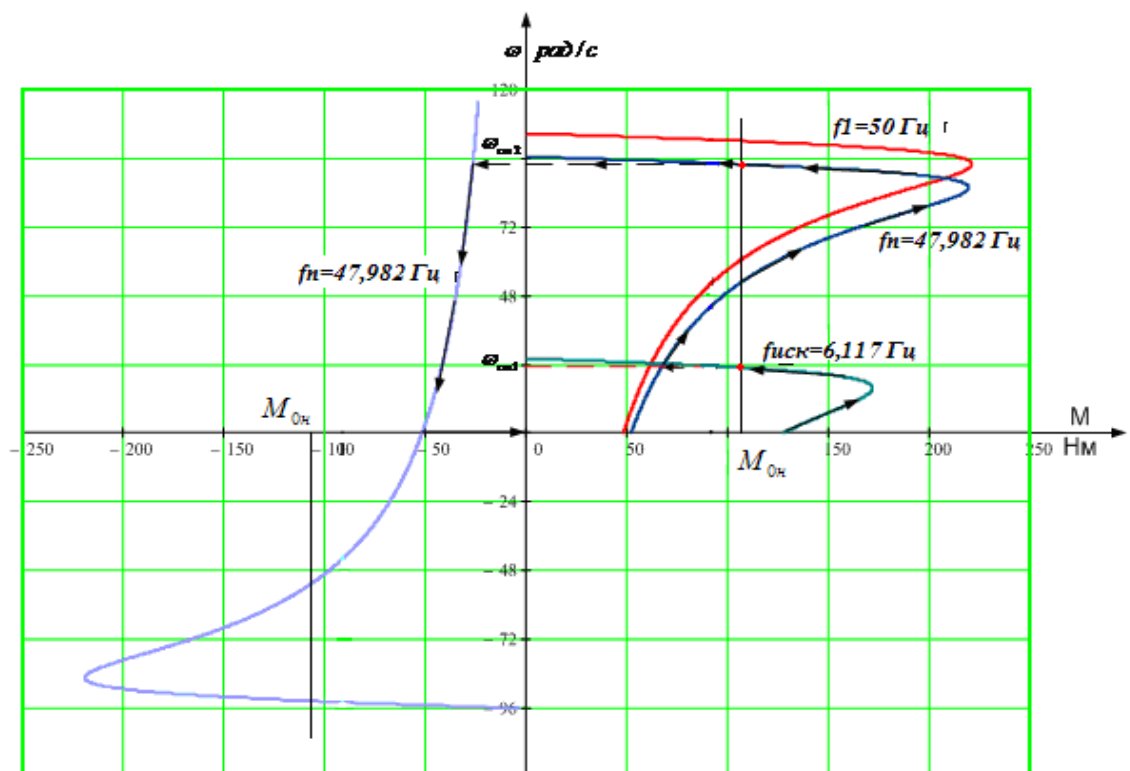


Рисунок 5.4. Механические характеристики при $\frac{U_{1*}}{f_{1*}} = const$

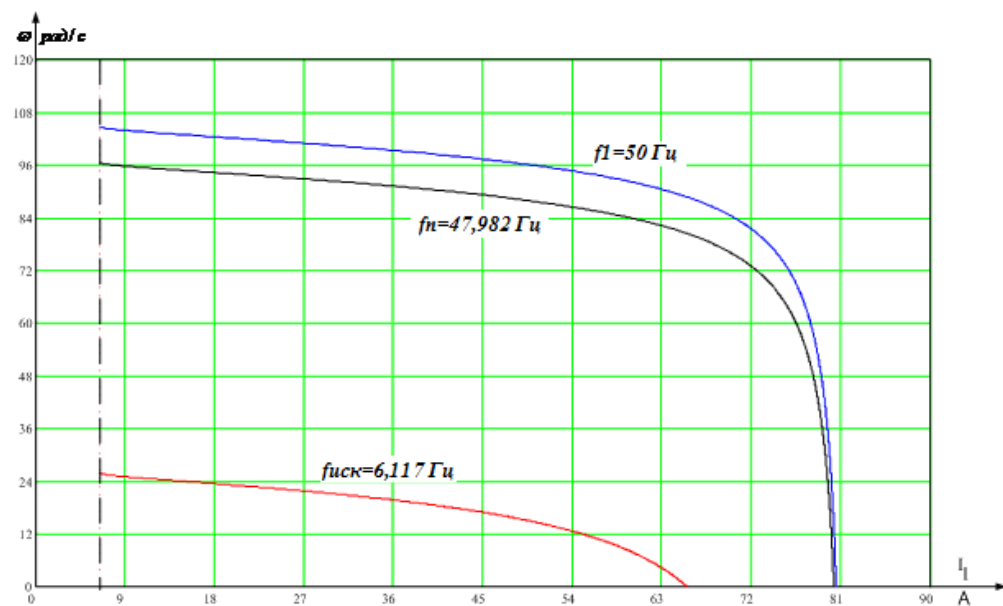


Рисунок 5.5. Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$ при $\frac{U_{1*}}{f_{1*}} = const$

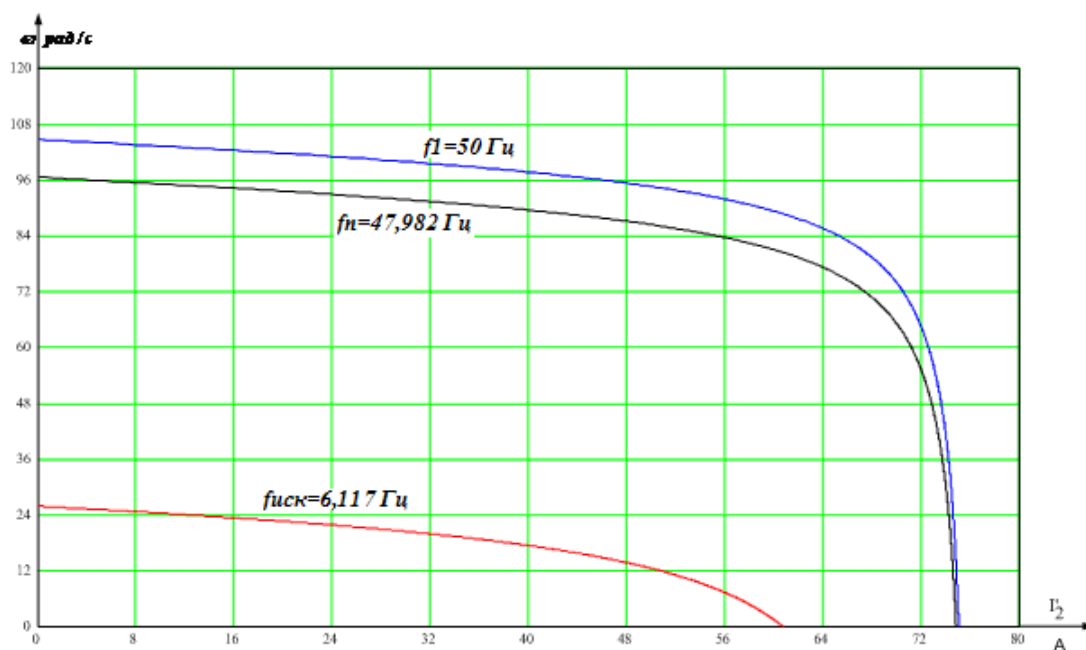


Рисунок 5.6. Электромеханические характеристики $I_1' = f(\omega)$.

6. Динамические характеристики асинхронного электропривода цепного конвейера

6.1 Динамические характеристики электропривода при регулировании скорости с помощью закона регулирования $U/f = \text{const}$.

Для исследования работы электропривода в динамических режимах была разработана имитационная модель электропривода (рис.6.2), с помощью которой были построены переходные процессы асинхронного электропривода при пуске, набросе и сбросе нагрузки, а также динамическая характеристика. При построении имитационной модели необходимо были приняты следующие допущения:

1. Не учитываются потери в стали;
2. Рассматриваем трёхфазный симметричный режим работы;
3. Насыщение магнитной цепи АД не учитывается;
4. Принимаем напряжения на выходе ПЧ строго синусоидальной формы;

5. Пренебрегаем влиянием силового канала между АД и ПЧ.

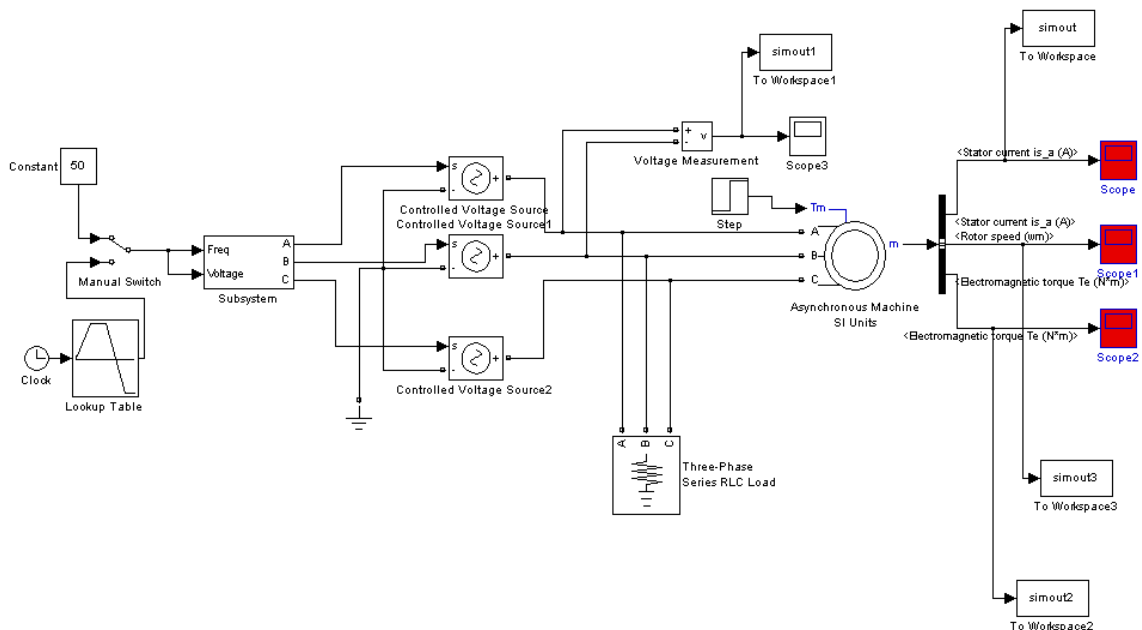


Рисунок 6.1. Имитационная модель электропривода по системе ПЧ-АД в программной среде Matlab

На рисунках соответственно 6.2 – 6.5 представлены кривые переходных процессов скорости и момента, полученные на модели при пуске электропривода цепного конвейера вхолостую, при максимальной нагрузке, набросе и сбросе нагрузки.

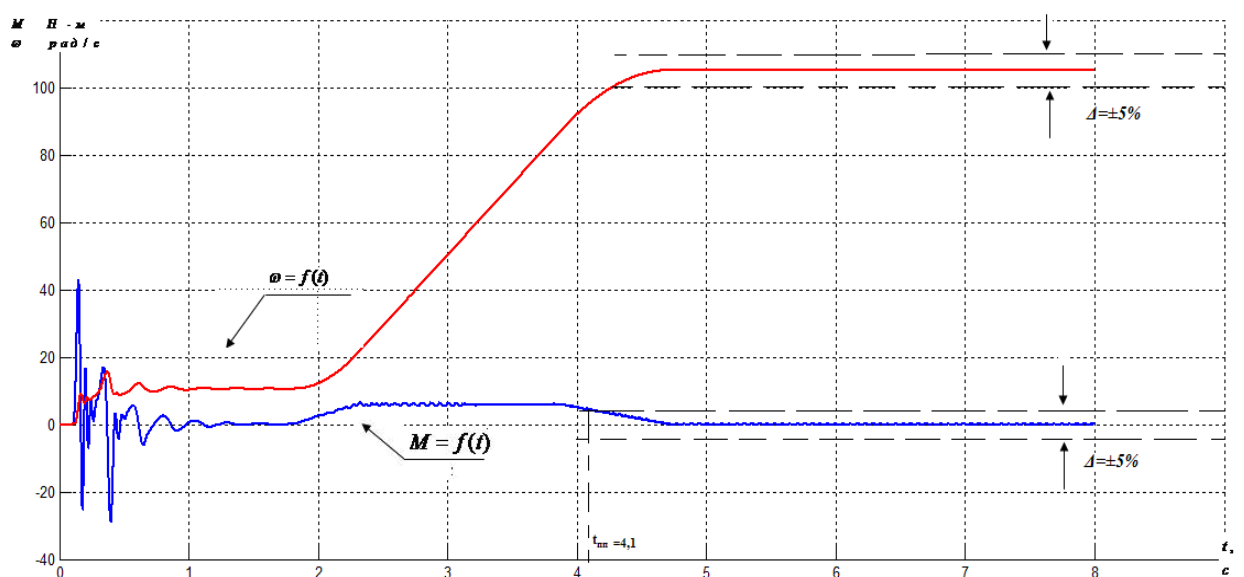


Рисунок 6.2. Кривые переходных процессов скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ электропривода при пуске вхолостую

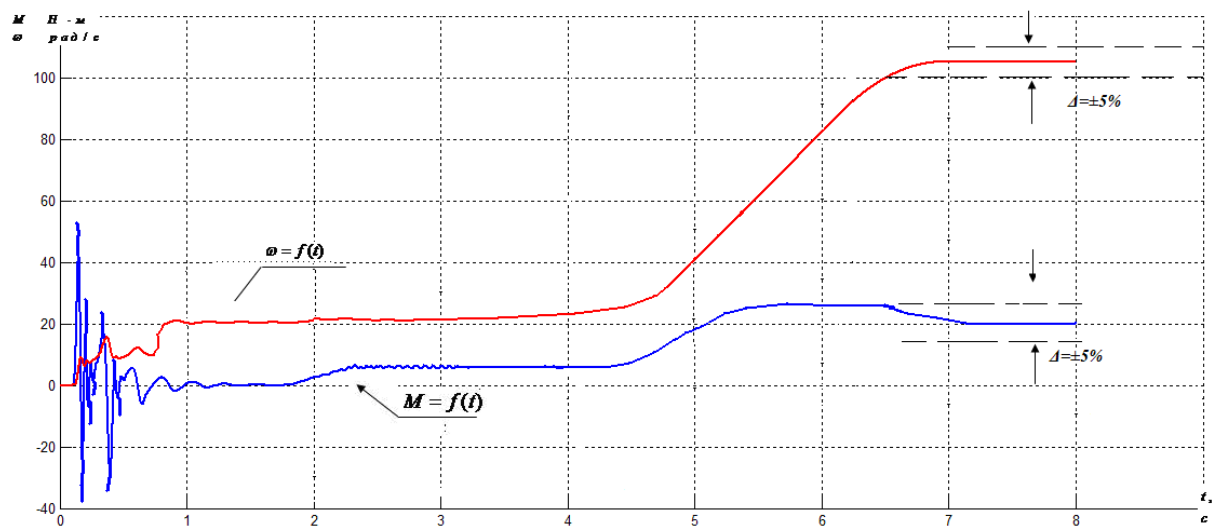


Рисунок 6.3. Кривые переходных процессов скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ при полной нагрузке электропривода

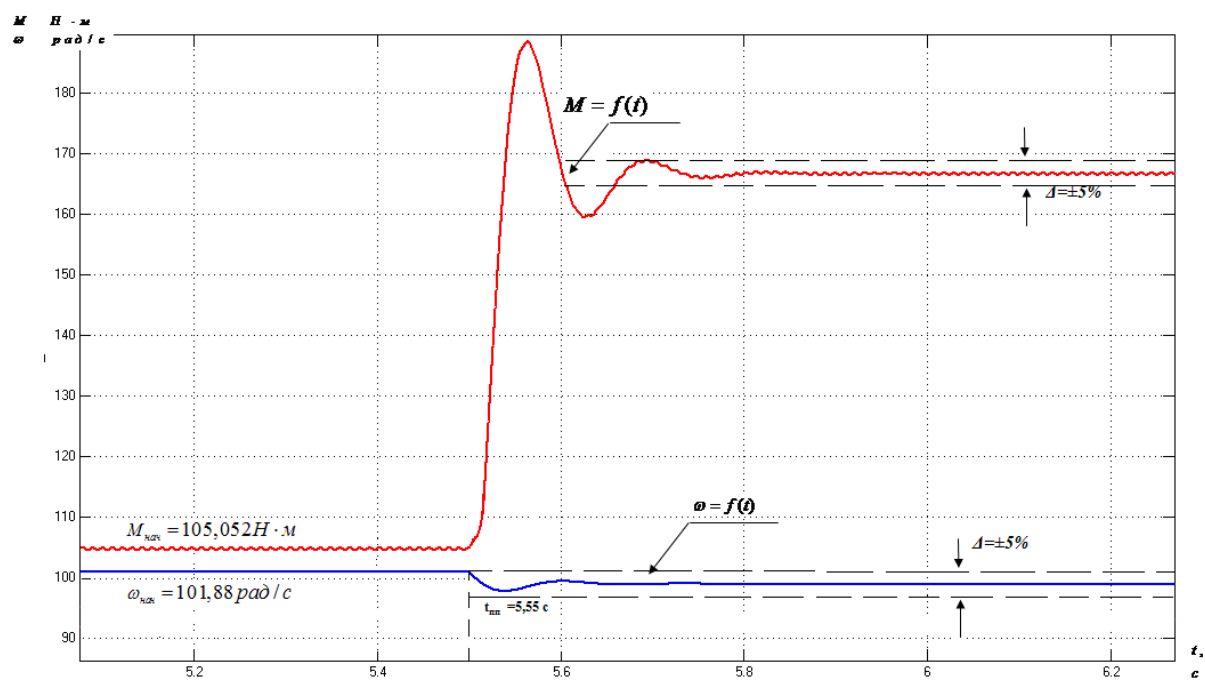


Рисунок 6.4 – Кривые переходных процессов скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ при набросе нагрузки

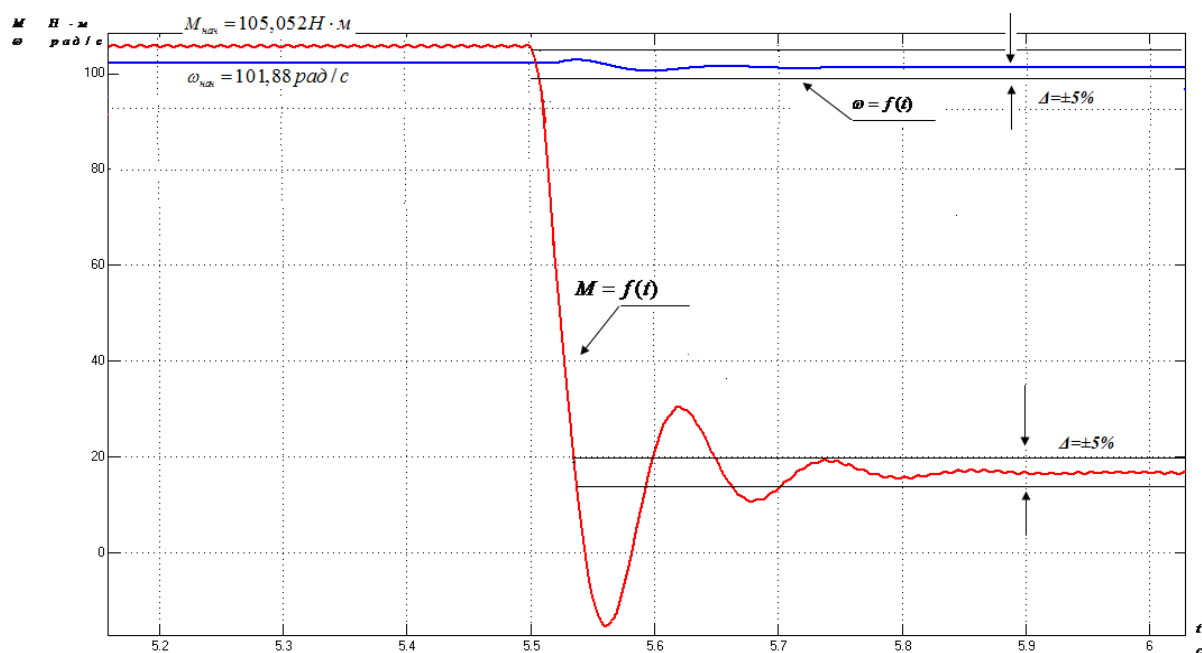


Рисунок 6.5. Кривые переходных процессов скорости $\omega = f(t)$ и момента $M = f(t)$ при сбросе нагрузки

Анализ переходных процессов электропривода цепного конвейера показывает наличие значительной колебательной составляющей в кривых момента, и затухающих по мере разгона двигателя.

Пуск с нагрузкой сопровождается практически отсутствием перерегулирования по скорости и меньшими мгновенными значениями момента, но чуть большим временем переходного процесса.

7. Составление функциональной схемы системы регулируемого электропривода цепного конвейера.

7.1 Функциональная схема скалярного частотного управления скоростью асинхронного двигателя.

Функциональная схема электропривода «Преобразователь частоты - асинхронный двигатель», реализующая различные законы управления, например, U_1/f_1 , приведена на рис. 7.1 Схема имеет два режима управления: местное и дистанционное. При местном управлении задание рабочей скорости определяется опорной частотой $f_{зАД}$, а управление пуском и остановом

двигателя производится с панели управления преобразователя. При дистанционном управлении скорость двигателя определяется аналоговым задающим напряжением $U_3=0...\pm 10\text{В}$ от внешнего потенциометра R_3 . Задающее напряжение U_3 преобразуется в код частоты $f_{\text{ЗД}}$ преобразователем напряжение - частота (ПНЧ), а затем в сигнал управления U_y преобразователем «частота - напряжение» (ПЧН). Преобразователь «частота - напряжение» формирует также закон изменения напряжения регулирования в функции частоты f_1 , чем и устанавливает один из принятых способов частотного регулирования класса U_1/f_1 . Прямой координатный преобразователь ПКП осуществляет последовательные преобразования от вращающейся декартовой системы координат x, y к неподвижной - с координатными осями a, b , а затем к трехфазной - A, B, C системе координат.

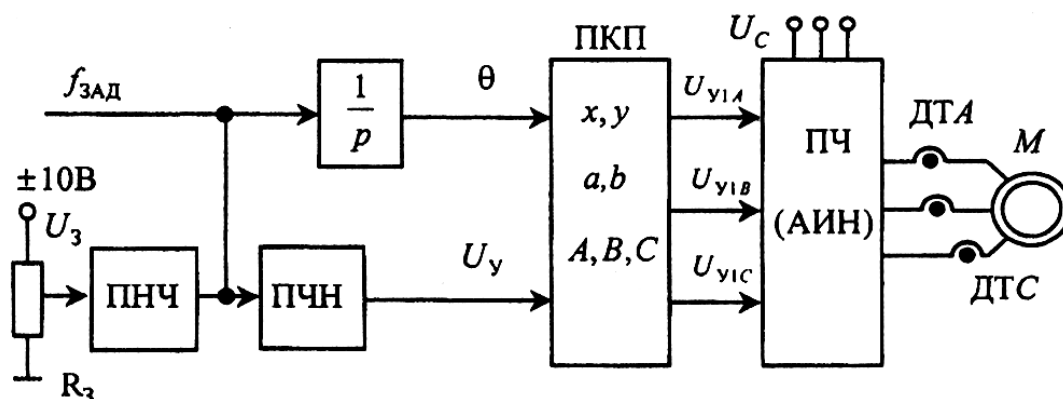


Рис. 7.1 – Функциональная схема скалярного частотного управления скоростью асинхронного двигателя.

Обобщенная функциональная схема асинхронного электропривода цепного конвейера приведена на рис.7.2.

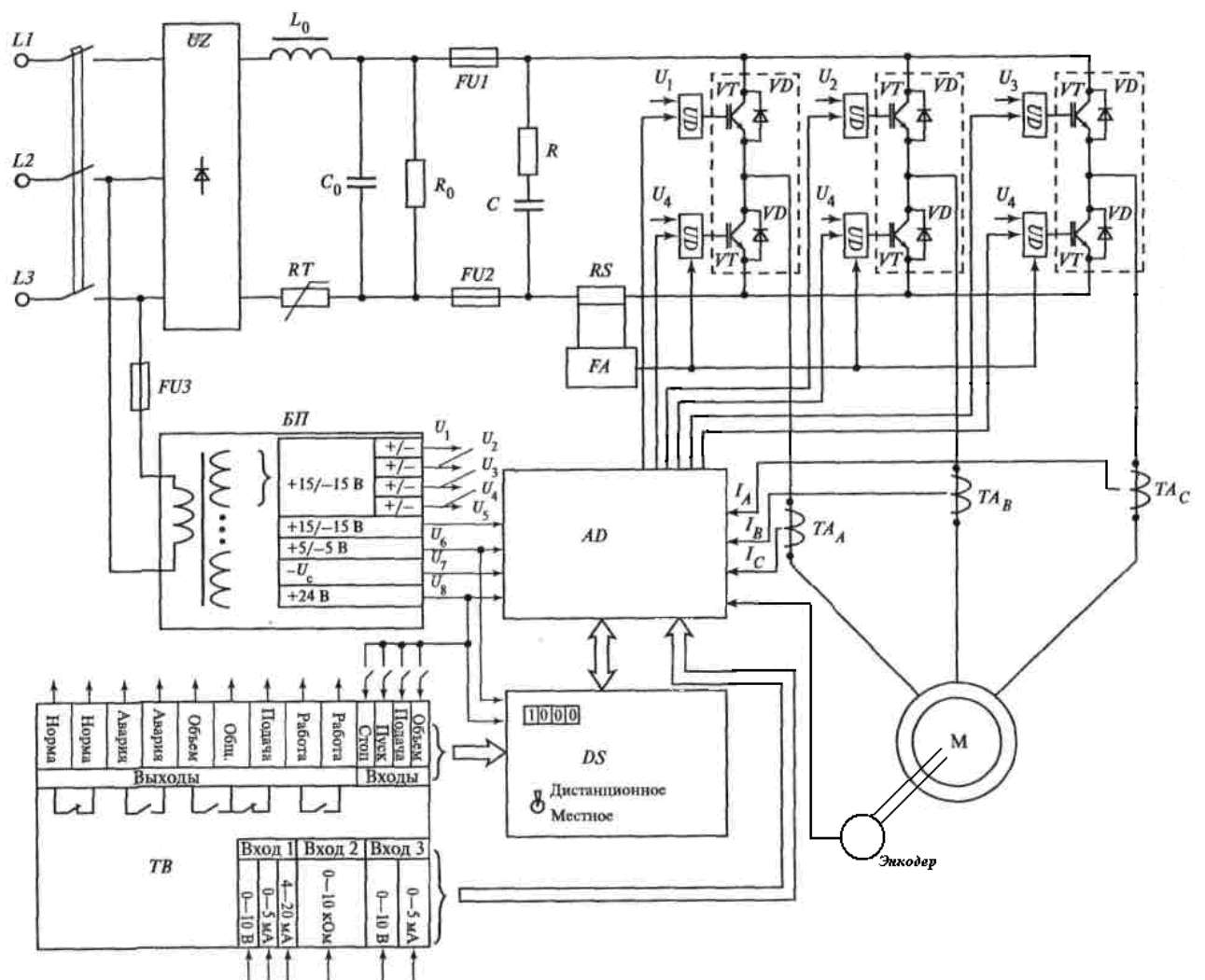


Рисунок 7.2 – Общая функциональная схема регулируемого электропривода

На функциональной схеме (рис.7.2) имеются следующие элементы оборудования:

UZ – неуправляемый выпрямитель; L_0 , C_0 – фильтр; RT – термистор, ограничивающий ток заряда конденсатора C_0 ; R_0 – разрядное сопротивление для конденсатора C_0 ; FU1, FU2, FU3 – предохранители; R, C – цепь защиты (снаббер) от перенапряжений на транзисторах IGBT; RS – датчик тока для организации защиты (FA) от сквозных и недопустимых токов перегрузки через IGBT с обратным диодным мостом.

Кроме того, здесь имеются:

а.) блок питания БП, состоящий из восьми гальванически развязанных источников постоянного напряжения;

б.) микроконтроллер AD на базе сигнального процессора TMS320F2812;

в.) плата индикации DS с переключателем способа управления: местное или дистанционное;

г.) блок сопротивления ТВ для работы с внешними сигналами или командами;

д.) согласующее устройство UD – драйверы IGBT.

Работа электропривода происходит следующим образом.

При подаче напряжения 380 В на силовой вход ПЧ в звене постоянного тока происходит процесс заряда конденсатора фильтра C0, который определяется значениями RT, L0, C0. Одновременно с этим в информационную часть схемы подается питание (напряжения U1 – U8). В процессе выдержки времени на установление напряжений стабилизированных источников питания U1 – U4 аппаратная защита FA блокирует открывание ключей инвертора и происходит запуск программы управления процессором по аппаратно формируемой команде «Рестарт».

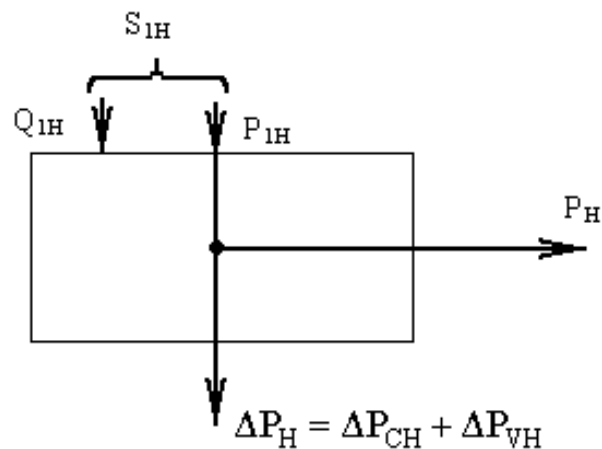
Выполняется инициализация. Производится запись начальных условий в ячейки ОЗУ процессора и определяется способ управления – местное или дистанционное. Если с датчиков тока фаз двигателя ТАА, ТАВ, ТАС, аппаратной защите FA, напряжения сети UC, а также от всех каналов вторичного источника питания поступает информация о нормальных параметрах, то ЭП готов к работе и на цифровой индикатор выводятся нули, светится светоизлучающий диод «Подача». В противном случае загорается светоизлучающий диод «Авария» и на цифровом индикаторе появляется код срабатывания той или иной защиты.

Для управления двигателем процессор формирует систему трехфазных синусоидальных напряжений, изменяемых по частоте и амплитуде, и передает их в модулятор, в котором синусоидальные сигналы управления фазами – «стойками» инвертора, состоящими из последовательно включенных ключей IGBT, преобразуются в дискретные команды включения транзисторов

классическим методом центрированной синусоидальной ШИМ. Несущая частота ШИМ составляет от 5 до 15 кГц. Одновременное замыкание двух ключей в «стойке» инвертора блокируется, для учета реального времени записания транзисторов в процессе переключения вводится «мертвое» время, составляющее единицы микросекунд, в течение которого оба ключа разомкнуты.

8. Расчет энергетических показателей электропривода

Номинальный режим



Полная мощность

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 11000 \cdot \left(\frac{1}{0,875} - 1 \right) = 1571 \text{ Вт}$$

Переменная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{V.H.} = M_H (\omega_0 - \omega_n) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = 110,583 \cdot (105,052 - 101,892) \cdot \left(1 + \frac{0,244}{0,298} \right) = 568,883 \text{ Вт}$$

Постоянная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{C.H.} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H.} = 1571 - 568,883 = 1003 \text{ Вт}$$

Коэффициент потер мощности

$$a = \frac{\Delta P_{C.H.}}{\Delta P_{V.H.}} = \frac{1003}{568,883} = 1,762$$

Активная энергия

Полезный расход энергии (механическая работа)

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 105,052 \cdot 10,18 \cdot 20 = 4,318 \cdot 10^4, [\text{Вт с}]$$

где ω_C , t_C – соответственно угловая скорость и время установившегося режима.

Постоянная составляющая потери энергии

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{CH} \cdot \left(\frac{\omega_c}{\omega_n}\right)^2 \cdot t_C = 1003 \cdot \left(\frac{10,18}{101,892}\right)^2 \cdot 20 = 1072 [\text{Вт с}].$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S_C})^2 + (X_K)^2}} = \frac{54,34}{\sqrt{(0,244 + \frac{0,298}{0,775})^2 + (2,88)^2}} = 18,434 [\text{А}],$$

Переменная составляющая потери энергии

$$\Delta A_V = 3 \cdot [I_0^2 \cdot R_1 + (I_2')^2 \cdot (\sigma \cdot R_1 + R_2')] \cdot t_C$$

где σ – поправочный коэффициент

$$\sigma = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 6,465 \cdot 2,88}{54,34} = 1,685$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [6,465^2 \cdot 0,244 + 18,434^2 \cdot (1,685 \cdot 0,244 + 0,298)] \cdot 20 = 1,509 \cdot 10^4 [\text{Вт} \cdot \text{с}].$$

Потребляемая из сети энергия

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 4,318 \cdot 10^4 + 1072 + 1,509 \cdot 10^4 = 5,934 \cdot 10^4 [\text{Вт с}].$$

Реактивная энергия

Потребление реактивной энергии

$$\sum A_p = \sum_{i=1}^n 3 [I_0^2 \cdot (X_1 + X_{\mu}) + (I_2')^2 \cdot (X_1 + X_2')] \cdot t_{c,i}$$

$$\sum A_p = 7,598 \cdot 10^5 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

где n – число установившихся режимов;

X_{μ} – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя

$$X_{\mu} \approx \sqrt{\left(\frac{U_1}{I_0}\right)^2 - R_1^2 - X_1};$$

$$X_{\mu CT} \approx \sqrt{\left(\frac{U_1}{I_0}\right)^2 - R_1^2 - X_1} = \sqrt{\left(\frac{54,34}{6,465}\right)^2 - 0,244^2 - 1,21} = 7,913;$$

Энергетический (среднецикловой) к.п.д. электропривода

$$\eta_3 = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{302300}{461400} \cdot 100\% = 65,5\%.$$

где $\sum A_2$ – суммарный расход полезной энергии за цикл;

$\sum A_1$ – суммарное потребление энергии из сети за цикл;

Энергетический коэффициент мощности электропривода

$$\cos \varphi_3 = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_p)^2}} = \frac{461400}{\sqrt{461400^2 + 759800^2}} = 0,519$$

Заключение

В выпускной работе рассмотрен технологический процесс однопоточного лесопильного цеха, в котором продольные цепные конвейеры (бревнотаски) подают бревна в лесопильный цех. Рассмотрена упрощенная кинематическая схема цепного конвейера, сформулированы требования к электроприводу, произведен выбор силового и вспомогательного оборудования электропривода цепного конвейера. В качестве исполнительного двигателя выбран надежный и самый распространенный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, а в качестве регулируемого преобразователя выбран современный преобразователь частоты, дающий возможность плавного регулирования скорости и применению законов частотного управления асинхронным двигателем, обеспечивающих достижение требуемых статических характеристик.

Проведен расчет статических характеристик и динамических в среде MATLAB, составлена функциональная схема электропривода.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение рассмотрены вопросы технического проекта с точки зрения его целесообразности и эффективности. Кроме того, в разделе социальная ответственность проведено обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на разработчика, а также расчет необходимого искусственного освещения.

