

ВВЕДЕНИЕ

Центробежный насос — это насос, в котором движение жидкости и необходимый напор создаются за счёт центробежной силы, возникающей при воздействии лопастей рабочего колеса на жидкость.

Внутри корпуса насоса, который имеет, как правило, спиральную форму, на валу жестко закреплено рабочее колесо насоса. Оно может быть открытого типа (диск на котором установлены лопасти насоса) и закрытого типа - лопасти размещены между передним и задним дисками. Лопасти отогнуты от радиального направления в сторону, противоположную направлению вращения рабочего колеса. С помощью патрубков корпус насоса соединяется с всасывающим и напорным трубопроводами.

Если корпус насоса полностью наполнен жидкостью из всасывающего трубопровода, то при придании вращения рабочему колесу (например, при помощи электродвигателя) жидкость, которая находится в каналах рабочего колеса (между его лопастями), под действием центробежной силы будет отбрасываться от центра колеса к периферии. Это приведёт к тому, что в центральной части колеса создастся разрежение, а на периферии повысится давление. А если повышается давление, то жидкость из насоса начнёт поступать в напорный трубопровод. Вследствие этого внутри корпуса насоса образуется разрежение, под действием которого жидкость одновременно начнёт поступать в насос из всасывающего трубопровода. Таким образом, происходит непрерывная подача жидкости центробежным насосом из всасывающего в напорный трубопровод.

Центробежные насосы не только бывают одноступенчатыми (с одним рабочим колесом), но и многоступенчатыми (с несколькими рабочими колесами). При этом принцип их действия во всех случаях остается одинаковым. Жидкость будет перемещаться под действием центробежной силы, которая развивается за счёт вращающегося рабочего колеса насоса.

Существует следующая классификация центробежных насосов:

Их классифицируют по:

- Количеству ступеней (колёс); одноступенчатые насосы могут быть с консольным расположением вала ;
- По расположению оси колёс в пространстве (горизонтальный и вертикальный)
- Давлению (низкого давления — до 0,2 МПа, среднего — от 0,2 до 0,6 МПа, высокого давления — более 0,6 МПа);
- Способу подвода жидкости к рабочему колесу (с односторонним или двухсторонним входом — двойного всасывания);
- Способу разъёма корпуса (с горизонтальным или вертикальным разъёмом);
- Способу отвода жидкости из рабочего колеса в канал корпуса (спиральный и лопаточный). В спиральных насосах жидкость отводится сразу в спиральный канал; в лопаточных жидкость сначала проходит через специальное устройство — направляющий аппарат (неподвижное колесо с лопатками);
- Коэффициенту быстроходности n_s (тихоходные, нормальные, быстроходные);
- По функциональному назначению (водопроводные, канализационные, химические, щелочные, нефтяные, землесосные, терморегулирующие космические и т. д.);
- Способу соединения с двигателем: приводные (с редуктором или со шкивом) или соединения с электродвигателем с помощью муфт, которые можно разделить на магнитные муфты, муфты упругие, другие типы муфт
- Способу расположения насоса относительно поверхности жидкости: поверхностные, глубинные и погружные.

КПД насоса зависит от коэффициента быстроходности n_s , режима работы, конструктивного исполнения. При оптимальном режиме работы КПД крупных насосов может достигать 0,92, а малых — около 0,6-0,75.

Основными частями центробежного насоса являются: корпус б насоса со всасывающим 1 и нагнетательным 3 патрубками. Внутри корпуса имеется рабочее колесо 4, жестко посаженное на вал 2. В корпусе вокруг рабочего колеса смонтирован направляющий аппарат 5.

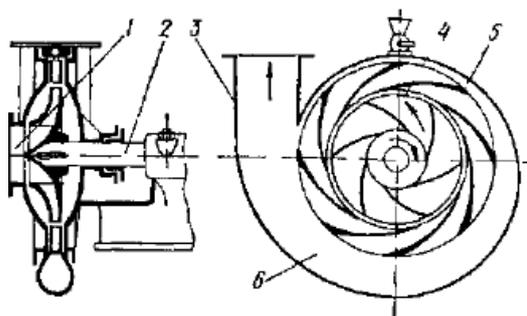


Рисунок 1 – Схема центробежного насоса

Корпус насоса с патрубками служит для подхода жидкости к рабочему колесу и для отвода жидкости после воздействия на нее рабочего колеса в нагнетательный трубопровод. При вращении рабочее колесо своими лопастями непосредственно воздействует на жидкость, а также создает внутри насоса поле центробежных сил за счет энергии двигателя.[1]

1. РАСЧЕТ И ВЫБОР СИЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В промышленной индустрии существует огромное множество различных вентиляторов, двигателей, преобразователей частоты, аппаратов защиты и т.д. Из этого всего разнообразия нужно выбрать оборудование соответствующее заданным техническим условиям для механизма подъема каротажной лебёдки. В данном разделе рассчитана мощность электродвигателя механизма подъема каротажной лебёдки, исходя из этого выбран двигатель по каталогам, определён тип управления им и выбран подходящий преобразователь частоты, произведен расчет и выбор аппаратуры управления и защиты, выбран кабель сети высокого напряжения и рассчитаны энергетические показатели электропривода.

1.1. Расчет мощности двигателя и предварительный его выбор

Основным критерием выбора двигателя является мощность. Номинальная мощность выбранного двигателя должна быть больше чем мощность, рассчитанная по исходным данным. Исходные данные к работе приведены в таблице 1.

Таблица 1- Исходные данные к работе

Производительность, м ³ /ч	Напор, м	Скорость вращения вала насоса, об/мин	КПД	Плотность перекачиваемой жидкости, кг/м ³	Коэффициент запаса
150	55	1450	0,68	1000	1,05

По формуле определим необходимую расчетную мощность, для дальнейшего выбора оборудования (насос, двигатель, ПЧ)

$$P = K_3 \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} = 1,05 \cdot \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 150 \cdot 55}{1000 \cdot 0,68 \cdot 3600} = 34,99 \text{ кВт}$$

$$P_H \geq P_{расч} = 34,99 \text{ кВт}$$

Выбор Двигателя

Из каталога выбираем двигатель АИР200М4 имеющий следующие параметры:



Рисунок 2 - Внешний вид асинхронного двигателя АИР200М4

Таблица 2 – Техническая характеристика электродвигателя[3]

$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	КПД, %	Коэф. Мощности	$I_{\text{НОМ}}$, А	$M_{\text{ПУСК}}/ M_{\text{НОМ}}$	$I_{\text{ПУСК}}/ I_{\text{НОМ}}$	$M_{\text{МАКС}}/ M_{\text{НОМ}}$	J, кг·м ²
37	1450	0,92	0,87	70	2,2	7,2	2,3	0,15

Таблица 3-Габаритные размеры, мм

d24	h31	130
450	505	800

Таблица 4-Установочные и присоединительные размеры, мм

Тип	l_1	l_{10}	l_{31}	d_1	d_{10}	d_{20}	d_{22}	d_{25}	b_{10}	n	h	l_{21}^*	l_{20}^*	h_{10}^*	h_5	b_1
АИР 200 М4	140	267	133	60	19	400	19	350	318	8	200	18	5	28	64	18

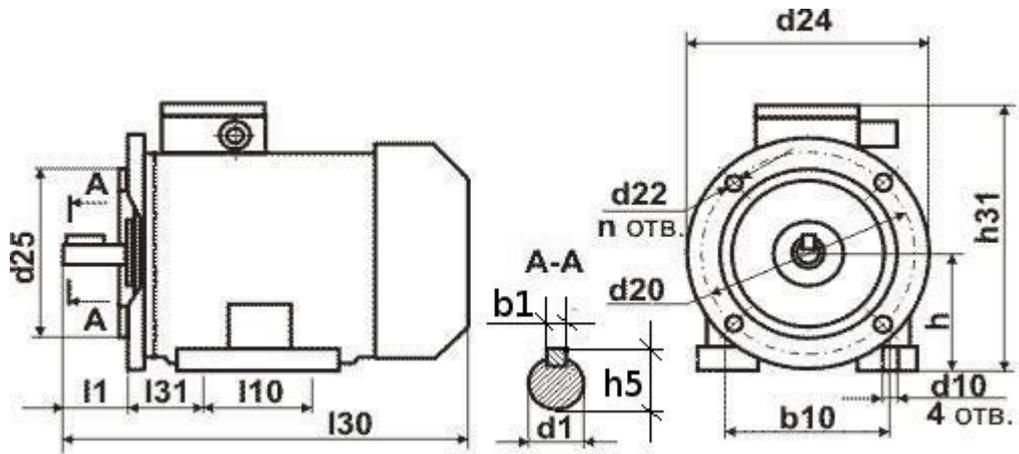


Рисунок 3 - Габаритные и присоединительные размеры двигателя

Выбираем насос, Д200/60 , по номинальной мощности электродвигателя АИР 200 М4. Центробежный насос Д200/60 имеет следующие параметры:

Таблица 5- Техническая характеристика[4]

Тип насоса	Подача, м ³ / ч,	Напор, м	Макс. потребляемая мощность насоса, кВт	Частота вращения, (об/мин)
Д200/60	200	60	37	1450



Рисунок 4 – Центробежный насос Д200/60

1.2. Выбор преобразовательного устройства для регулирования электропривода

Основными недостатками асинхронных электродвигателей до недавнего времени были сложность и неэкономичность регулирования их частоты вращения, а плавное регулирование двигателей с К.З. ротором было практически невозможно. В то же время необходимость регулирования частоты вращения была особенно важна для привода механизмов, применяемых для изменения расходов и работающих с переменной нагрузкой.

С развитием силовой полупроводниковой и микропроцессорной техники в последние 15-20 лет стало возможным создание устройств частотного регулирования электроприводов с асинхронными двигателями. Эти устройства позволили экономично и точно управлять скоростью и моментом двигателя, избавиться от дросселирования производительности насосов и вентиляторов при помощи вентилей и заслонок, от применения неэкономичных гидромуфт, а также сложных и дорогостоящих приводов постоянного тока. Частотно-регулируемый привод (ЧРП) состоит из асинхронного электрического двигателя М и преобразователя частоты ПЧ (рисунок 5):

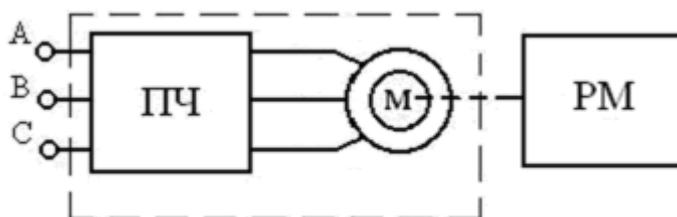


Рисунок 5 - Общая структура ЧРП

Электрический двигатель приводит в движение рабочий механизм РМ (насос, вентилятор, конвейер, питатель и т.п.). Преобразователь частоты ПЧ представляет собой статическое электронное устройство, с помощью которого можно управлять электрическим двигателем. На выходе преобразователя формируется электрическое напряжение с регулируемой частотой и амплитудой.

Регулирование частоты вращения ротора асинхронного двигателя основано на изменении частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого статором двигателя.

В наиболее распространенном частотно-регулируемом приводе на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором применяются два вида управления – скалярное и векторное.

При скалярном управлении одновременно изменяют частоту и амплитуду подводимого к двигателю напряжения.

Частотный преобразователь состоит из системы управления, выпрямителя и шины постоянного тока. Входное синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой выпрямляется в звене постоянного тока В, сглаживается фильтром состоящим из дросселя L_v и конденсатора фильтра C_v , а затем вновь преобразуется инвертором АИН в переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды. Регулирование выходной частоты $f_{\text{вых}}$ и напряжения $U_{\text{вых}}$ осуществляется в инверторе за счет высокочастотного широтно-импульсного управления. Широтно-импульсное управление характеризуется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к положительному и отрицательному полюсам выпрямителя.

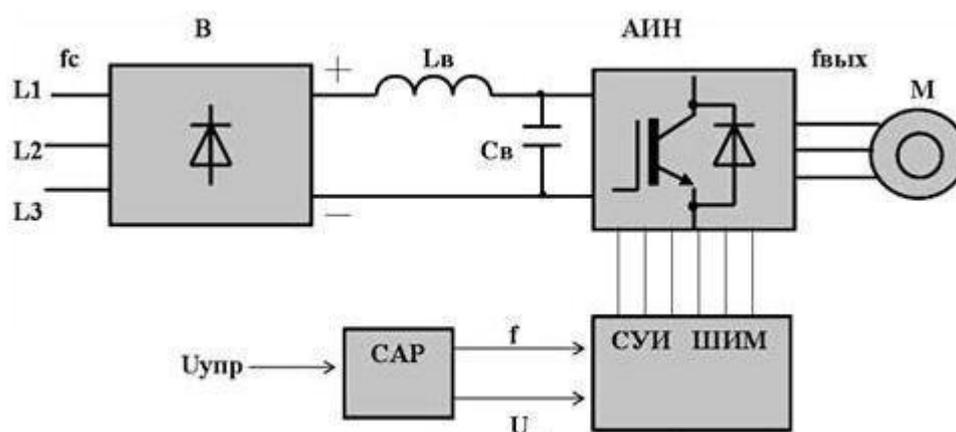


Рисунок 6 - Структурная схема частотного преобразователя

Длительность подключения каждой обмотки в пределах периода следования импульсов модулируется по синусоидальному закону. Наибольшая

ширина импульсов обеспечивается в середине полупериода, а к началу и концу полупериода уменьшается. Таким образом, система управления СУИ обеспечивает широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя. Амплитуда и частота напряжения определяются параметрами модулирующей синусоидальной функции. Таким образом, на выходе преобразователя частоты формируется трехфазное переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды.

Выбираем ПЧ при условии, что $I_{н ПЧ} \geq 1.25I_{н ДВ}$ $128 \geq 87.5$

Выбираем преобразователь типа EI-9011 производитель компания Веспер.[4]



Рисунок 7 - Преобразователь частоты EI-9011

Общие технические данные преобразователя частоты серии EI-9011 :

Предназначен для приводов с «вентиляторной» механической характеристикой — насосов и вентиляторов

Выходные характеристики:

- Полная мощность преобразователя 37кВА;
- Номинальный выходной ток 128А;
- Максимальное выходное напряжение 380В (трехфазное);

-Номинальная выходная частота до 400Гц.

Источники питания:

-Номинальное входное напряжение 380В (трехфазное);

-Номинальная входная частота 50/60Гц;

-Допустимые отклонения напряжения +10%,-15%;

-Допустимое отклонения частоты ±5%.

Защитные функции:

-Защита электродвигателя от перегрузки;

-Защита от мгновенных перегрузок по току;

-Защита плавким предохранителем;

-Защита от перенапряжения;

-Защита от недостаточного напряжения;

-Защита от токов утечки;

-Защита от потери фазы;

Параметры внешней окружающей среды:

-Температура окружающей среды от -10°C до +40°C;

-Относительная влажность не более 90%

-Высотность, не более 1000м;

-Температура хранения от -20°C до +60°C.

1.3 Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

1.3.1. Расчет АИН

Максимальный ток через ключи инвертора:

$$I_{c\max} = \frac{P_H \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{дв} \cos \phi \sqrt{3} U_{л}} = \frac{5,5 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,87 \cdot 0,84 \cdot \sqrt{3} \cdot 380} = 131,111 \text{ А},$$

Где $k_1 = 1,2 - 1,5$ коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики ЭП,

$k_2 = 1,1 - 1,2$ коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока,

$U_{л} = 380\text{В}$ - линейное напряжение двигателя, В.

Выбираем IGBT транзистор APT100GF60JRD с параметрами: $I_{ном} = 130$ А, $I_{max} = 150$ А, $U_{max} = 600$ В .[5]

Потери в IGBT в проводящем состоянии

$$P_{SS} = \frac{I_{cmax}}{k_1} \cdot U_{ce(sat)} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = \frac{109.259}{1,2} \cdot 2,5 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot \pi} \cdot 0,87 \right) = 58.109 \text{ Вт}$$

Где $D = \frac{t_p}{T} \approx 0,95$ – максимальная скважность,

$U_{ce(sat)} = 2,1-2,5$ В- прямое падение напряжения на IGBT в насыщенном состоянии при I_{cp} и $T_j = 125^\circ\text{C}$

Потери в IGBT при коммутации:

$$P_{sw} = \frac{1}{\pi \sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp} \cdot U_{cc} \cdot f_{sw} (t_{c(on)} + t_{c(off)}) \cdot f_{sw}}{2} = \frac{1}{3,14 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{109.259 \cdot 513 \cdot (0,3 \cdot 10^{-6} + 0,6 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^4}{2} = 56,8 \text{ Вт}$$

$$I_{cp} = I_{cmax} / k_1 = 131,11 / 1,2 = 109,259 \text{ А}$$

$U_d = 1,35 \cdot U_{л}$, т.к. схема выпрямителя мостовая, $U_{cc} = U_d = 513$ В – напряжение на коллекторе IGBT. Время включения и выключения транзистора: $t_{c(on)} = 0,3 \cdot 10^{-6}$, $t_{c(off)} = 0,6 \cdot 10^{-6}$ – продолжительность переходных процессов по цепи коллектора IGBT на открытие и закрытии транзистора соответственно, где $f_{sw} = 10$ кГц – частота коммутаций ключей.

Суммарные потери в IGBT: $P_Q = P_{SS} + P_{sw} = 58,109 + 56,8 = 114,9$ Вт.

Потери диода в проводящем состоянии:

$$P_{DS} = I_{cp} \cdot U_{ec} \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{D}{3 \cdot \pi} \cdot \cos \phi \right) = 109.259 \cdot 1,4 \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{0,95}{3 \cdot \pi} \cdot 0,87 \right) = 32,541 \text{ Вт}$$

Где, $U_{ec} = 1,4$ В – прямое падение напряжения на диоде в проводящем состоянии, $I_{cp} = I_{cp} = 109,259$ А.

Потери диода при восстановлении запирающих свойств:

$$P_{DR} = \frac{1}{8} \cdot (U_{cc} \cdot I_{cp} \cdot t_{tr} \cdot f_{sw}) = \frac{1}{8} \cdot (513 \cdot 109.259 \cdot 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4) = 14,01 \text{ Вт}$$

Где, $t_{tr} = 0,2 \cdot 10^{-6}$ с – продолжительность импульса обратного тока.

Суммарные потери диода:

$$P_D = P_{DR} + P_{DS} = 14,01 + 32,154 = 46,554 \text{ Вт.}$$

Результирующие потери в IGBT с обратным диодом:

$$P_T = P_D + P_Q = 46,554 + 114,909 = 161,462 \text{ Вт.}$$

1.3.2. Расчет выпрямителя (трехфазная мостовая схема)

$U_d = 1,35 \cdot U_{л}$ – среднее выпрямленное напряжение; $n = 6$ – кол-во пар IGBT/FWD в инверторе.

Максимальное значение среднего выпрямленного тока:

$$I_{dm} = \frac{\cos \phi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \frac{I_{cmax}}{\sqrt{2}} + n \cdot P_T}{U_d} = \frac{0,87 \cdot \sqrt{3} \cdot 380 \cdot \frac{131,111}{\sqrt{2}} + 6 \cdot 161,462}{513} = 105,372 \text{ А}$$

Максимальный рабочий ток диода:

$$I_{vm} = k_{cc} \cdot I_{dm} = 1,045 \cdot 105,372 = 110,1 \text{ А}$$

Где, $k_{cc} = 1,045$ для мостовой трехфазной схемы.

Максимальное обратное напряжение диода:

$$U_{vm} = k_{зн} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{л} \cdot k_c \cdot k_{с.н} + \Delta U_{\Pi} = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,1 \cdot 1,35 + 120 = 1078 \text{ В}$$

Где $k_c = 1,1$ – к-т допустимого повышения напряжения сети, $k_{зн} = 1,2$ – коэффициент запаса по напряжению, $k_{с.н} = 1,35$ – коэффициент схемы для номинальной нагрузки, $\Delta U_{\Pi} = 100\text{--}150 \text{ В}$ – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

Диоды выбираются по постоянному рабочему току (не менее I_{vm}) и по классу напряжения (не менее $U_{vm} / 100$).

Выбираем диод КД510А с параметрами $U_{обрмакс} = 150 \text{ В}$, $I_{пр} = 20 \text{ А}$.

Расчет потерь в выпрямителе для установившегося режима работы ЭП:

$$P_{DV} = m_v \cdot k_{cs} \cdot (U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1}) \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} = 6 \cdot 0,577 \cdot 1 \cdot \frac{105,372}{1,2} = 304 \text{ Вт}$$

$$k_{cs} = 0,577, m_v = 6, U_j + R_{on} \cdot \frac{I_{dm}}{k_1} \leq 1.$$

1.3.3. Расчет фильтра

Коэффициент пульсаций на входе фильтра:

$$q_{\text{Iвх}} = \frac{2}{m^2 - 1} = 0,057,$$

Где m – пульсность схемы (для трехфазной мостовой схемы $m=6$)

Амплитуда тока в фазе двигателя: $I_{\text{sm1}} = 1,41 \cdot I_{\text{двн}} = 98,7 \text{ А}$.

Емкость конденсатора, необходимая для протекания реактивного тока нагрузки инвертора:

$$C_{03} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{sm1}} \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi_1}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2U_d \cdot f_{\text{sw}} \cdot q_{\text{Iвх}}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 98,7 \cdot \sin^2\left(\frac{0,516}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot 513 \cdot 10000 \cdot 0,057} = 4,3 \cdot 10^{-8} \text{ Ф},$$

Где φ_1 - угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока, $\varphi_1 = a \cos(\cos(\varphi)) = a \cos(\cos(0,87)) = 0,516$.

Амплитуда тока, протекающего через конденсаторы фильтра на частоте пульсаций выпрямленного тока(по первой гармонике):

$$I_{\text{c0m}} = q_{\text{Iвх}} \cdot U_d \cdot 2\pi \cdot m \cdot f_{\text{sw}} \cdot C_{03} = 0,057 \cdot 513 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 10000 \cdot 4,3 \cdot 10^{-8} = 0,00012 \text{ А}.$$

1.3.4. Расчет снаббера

Выбранная схема снаббера представлена на рис. 8:

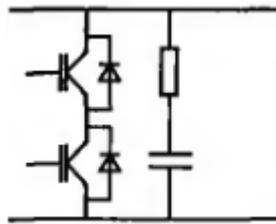


Рисунок 8– Схема снаббера

Сопrotивление резистора зависит от емкости конденсатора C и частоты коммутации IGBT f_{sw} , Расчетная формула мощности для выбора резистора цепи снаббера:

$$\text{Принимаем } C_{\text{sn}} = 0,03 \text{ мкФ, тогда: } P = 0,5 \cdot C_{\text{sn}} \cdot \Delta U_m^2 \cdot f_{\text{sw}} = 0,54 \text{ Вт, где } \Delta U = 60\text{В} - \text{перенапряжение}$$

Где, $C_{sn} = 0,03$ мкФ - емкость снаббера, которая составляет 1 мкФ на 100 А коммутируемого транзистором тока, $\Delta U = 60$ В - перенапряжение.

Сопротивление снаббера:

Принимаем $L_{sn} = 10$ нГн, тогда: $R_{sn} = 2 \sqrt{\frac{L_{sn}}{C_{sn}}} = 1,155$ Ом

Сопротивление снаббера выбираем из условия: $R > R_{sn}$

1.4. Выбор аппаратуры управления и защиты

По номинальному току и мощности были выбран контактор фирмы TeSys серии LC1D 80А НО+НЗ 380 по каталогу [8].



Рисунок 9 - Контактор LC1D 80А НО+НЗ 380

Таблица 6 - Технические характеристики контактора

Характеристики	Величина
Номинальный рабочий ток, АС-3	80 А
Номинальная рабочая мощность, АС-3	37 кВт
Номинальное рабочее напряжение катушки	380 В
Встроенные вспомогательные контакты	1 НЗ+ 1НО

Также был выбран автоматический выключатель выключатель типа А3726Н [9].



Рисунок 10 - Автоматический выключатель А3726Н

Выключатели выпускаются в стационарном и выдвижном исполнении, с электромагнитным и ручным приводом. При необходимости встраиваются следующие дополнительные сборные единицы: независимый расцепитель, нулевой расцепитель, свободные контакты. Присоединение внешних проводников к контактам главной переднее заднее.

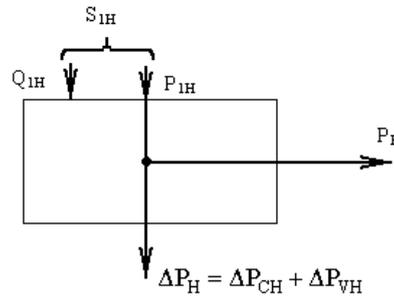
1.5. Расчет и выбор типа и сечения кабеля сети высокого напряжения и вспомогательного оборудования

Выбор конструкции сети и типа проводников осуществляется с ориентацией на окружающую среду помещений цехов. В цеховых сетях до 1000В наиболее широкое распространение получили электропроводки, кабельные линии, комплектные шинопроводы. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей среды и возможных условий места прокладки.

По номинальному току двигателя и для таких условий выбираем кабель КВВ – кабель с медными жилами, с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката. сечением 10мм^2 . Допустимый ток кабеля равен 80 А. Для сети высокого напряжения выбирается кабель такой же марки, сечением 35мм^2 допустимый ток которого, равен 560 А. [10]

1.6. Определение расхода электроэнергии за цикл работы, среднецикловых значений КПД и коэффициента мощности.

Номинальный режим



Полная мощность

$$\Delta P_H = P_H \left(\frac{1}{\eta_H} - 1 \right) = 37000 \cdot \left(\frac{1}{0,92} - 1 \right) = 3217 \text{ Вт}$$

Переменная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{V.H} = M_H (\omega_0 - \omega_H) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2'} \right) = 243.711 \cdot (157 - 151.8) \cdot \left(1 + \frac{0.113}{0.111} \right) = 2556 \text{ Вт}$$

Постоянная составляющая потери мощности

$$\Delta P_{C.H} = \Delta P_H - \Delta P_{V.H} = 3217 - 2556 = 661 \text{ Вт}$$

Коэффициент потерь мощности

$$a = \frac{\Delta P_{C.H}}{\Delta P_{V.H}} = \frac{661}{2556} = 0,25$$

Активная энергия

Полезный расход энергии (механическая работа)

$$A_2 = M_C \cdot \omega_C \cdot t_C = 243.711 \cdot 151.8 \cdot 0.15 = 5549, [\text{Вт с}]$$

где ω_C , t_C – соответственно угловая скорость и время установившегося режима (время установившегося режима принимаем равным 0,15 из рисунка 20).

Постоянная составляющая потери энергии

$$\Delta A_C \approx \Delta P_{C.H} \cdot \left(\frac{\omega_C}{\omega_H} \right)^2 \cdot t_C = 661 \cdot \left(\frac{151.8}{157} \right)^2 \cdot 0.15 = 92.8 [\text{Вт с}].$$

Приведенный фазный ток ротора в установившемся режиме

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{S_C})^2 + (X_K)^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0.113 + \frac{0.111}{0.033})^2 + (0.706)^2}} = 62.175 \text{ [A]},$$

Переменная составляющая потери энергии

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

где ϵ – поправочный коэффициент

$$\epsilon = 1 + \frac{2 \cdot I_0 \cdot X_K}{U_1} = 1 + \frac{2 \cdot 24.239 \cdot 0.706}{220} = 1,156$$

$$\Delta A_V = 3 \cdot [24.239^2 \cdot 0.113 + 62.175^2 \cdot (1,156 \cdot 0.113 + 0.111)] \cdot 0.15 = 450 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Потребляемая из сети энергия

$$A_1 = A_2 + \Delta A_C + \Delta A_V = 450 + 92.79 + 5549 = 6092 \text{ [Вт} \cdot \text{с]}.$$

Реактивная энергия

Потребление реактивной энергии за цикл

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

$$\sum A_p = 4.6 \cdot 10^4 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

где n – число установившихся режимов;

X_μ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура двигателя

Энергетические показатели электропривода

Энергетический (среднецикловой) к.п.д. электропривода

$$\eta_s = \frac{\sum A_2}{\sum A_1} \cdot 100\% = \frac{5549}{6092} \cdot 100\% = 91\%.$$

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

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

Энергетический (среднецикловой) коэффициент мощности

электропривода

$$\cos \varphi_s = \frac{\sum A_1}{\sqrt{(\sum A_1)^2 + (\sum A_p)^2}} = \frac{6092}{\sqrt{6092^2 + 3508^2}} = 0,867$$

2. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1. Расчет естественных характеристик и искусственных (регулирующих) характеристик $\omega = f(I)$, $\omega = f(M)$ системы регулируемого электропривода для заданного диапазона регулирования скорости

Под статическими характеристиками чаще всего подразумеваются электромеханическая и механическая характеристика.

Механическая характеристика — это зависимость угловой скорости вращения вала от электромагнитного момента M (или от момента сопротивления M_c).

Электромеханическая характеристика — это зависимость угловой скорости вращения вала ω от тока I .

Под естественной механической характеристикой асинхронного двигателя понимается зависимость момента двигателя M от его скольжения s при номинальной схеме включения двигателя, номинальных параметрах питающей сети и отсутствии добавочных сопротивлений в цепях двигателя. Все остальные характеристики называются искусственными. С помощью искусственных характеристик асинхронного двигателя регулируют его скорость в соответствии с требованиями технологического процесса.

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 расчетов асинхронного двигателя является Т-образная схема замещения, представленная на рисунке 11. Расчет параметров схемы замещения производится по [7].

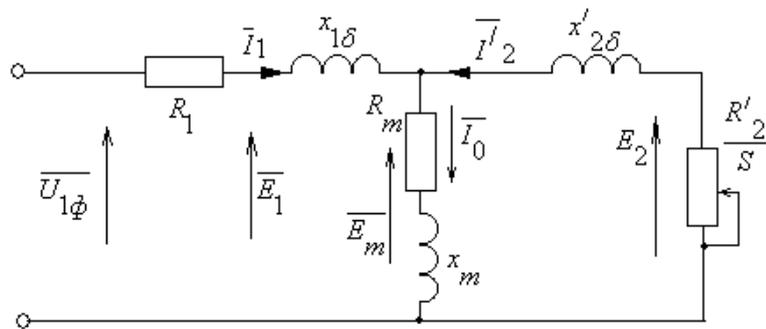


Рисунок 11 - Схема замещения асинхронного двигателя

$U_{1\phi}$ – фазное напряжение подводимое к обмотке статора двигателя;

I_1 – ток обмотки статора;

R_1 – активное сопротивление обмотки статора;

$X_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора;

I'_2 – приведенный ток обмотки ротора к обмотке статора;

R'_2 – приведенное активное сопротивление цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

$X'_{2\sigma}$ – приведенное индуктивное сопротивление рассеяния цепи обмотки ротора к цепи обмотке статора;

I_0 – ток холостого хода (намагничивания);

X_m – индуктивное сопротивление контура намагничивания

Определим параметры Т-образной схемы замещения асинхронного двигателя АИР200М4со следующими каталожными данными:

Номинальная мощность двигателя: $P_n = 37$ кВт

Номинальное фазное напряжение: $U_{н1} = 220$ В

Номинальное напряжение сети: $U_{фн} = 380$ В

Номинальная частота вращения: $n_n = 1450$ об/мин

КПД в режиме номинальной мощности: $\eta_n = 0,92$ о. е.

Коэффициент мощности в режиме номинальной мощности: $\cos \varphi = 0,87$ о. е.

Кратность пускового тока: $k_i = 7,2$ о. е

Кратность пускового момента: $k_{II} = 2,2$ о. е

Кратность максимального момента: $k_{max} = 2,3$ о. е

Коэффициент загрузки двигателя: $p_{ж} = 0,75$ о. е

Число пар полюсов: $p = 2$

Основные уравнения асинхронного двигателя, соответствующие Т-образной схеме:

$$\begin{cases} \bar{U}_{1\phi} - \bar{E}_m - j \cdot X_1 \cdot \bar{I}_1 - R_1 \cdot \bar{I}_1 = 0 \\ \bar{E}_m + j \cdot X_2' \cdot \bar{I}_2' + R_2' \cdot \bar{I}_2' / s = 0 \\ \bar{I}_1 + \bar{I}_2' - \bar{I}_0 = 0 \end{cases}$$

Найдем синхронную частоту вращения и номинальное скольжение:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{1500 - 1450}{1500} = 0,033 \text{ о.е.}$$

Найдем ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(p_{жс} \cdot I_{1H} \cdot \frac{1 - S_H}{1 - p_{жс} \cdot S_H} \right)^2}{1 - \left(p_{жс} \cdot \frac{1 - S_H}{1 - p_{жс} \cdot S_H} \right)^2}}, \text{ где}$$

$$I_{11} = \frac{p_{жс} \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \phi_{p*} \cdot \eta_H} = \frac{0,75 \cdot 37 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,838 \cdot 0,92} = 54,549 \text{ А -}$$

ток статора двигателя при частичной загрузке, где

$\eta_{пжс} = \eta_H = 0,87$ - КПД при частичной загрузке,

$$\cos \phi_{pжс} = \cos \phi \cdot \left(\frac{\cos \phi_{0,75}}{\cos \phi} \right) = 0,87 \cdot 0,963 = 0,838 \text{ о.е. - коэффициент мощности}$$

при частичной загрузке.

$\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_H=0,963$ – относительный коэффициент мощности при частичной нагрузке (из графика на рисунок 12).

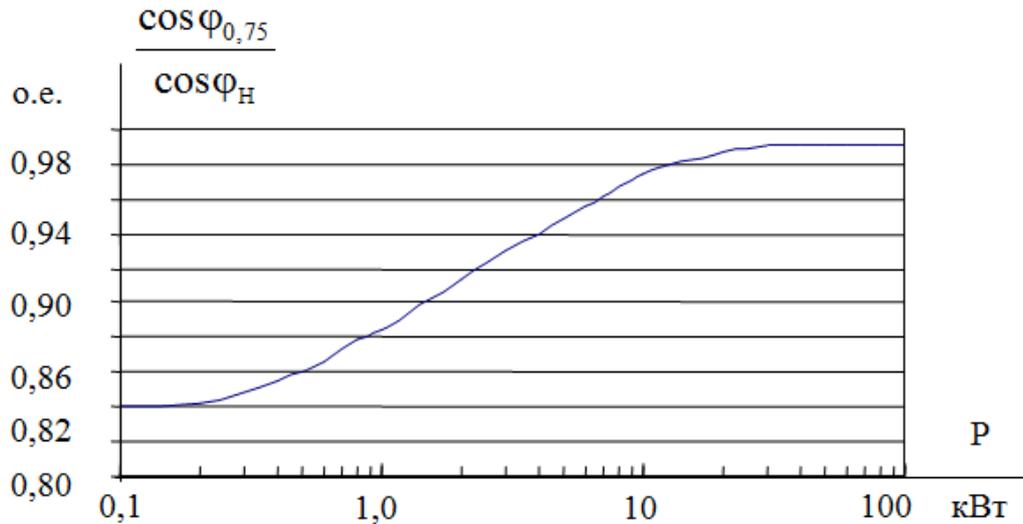


Рисунок 12 - Зависимость $\cos\varphi_{0,75}/\cos\varphi_H$ от мощности асинхронного двигателя

$$I_{1H} = \frac{P_H}{3U_{1H} \cdot \cos\varphi \cdot \eta_H} = \frac{5500}{3 \cdot 220 \cdot 0,84 \cdot 0,87} = 11,403 \text{ А} - \text{номинальный ток статора}$$

двигателя

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - [p_* \cdot I_{1H} (1 - S_H) / (1 - p_* \cdot S_H)]^2}{1 - p_* \cdot (1 - S_H) / (1 - p_* \cdot S_H)^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{54,549^2 - [0,75 \cdot 70 \cdot (1 - 0,033) / (1 - 0,75 \cdot 0,033)]^2}{1 - [0,75 \cdot (1 - 0,033) / (1 - 0,75 \cdot 0,033)]^2}} = 24,239 \text{ А};$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принимаем $\beta = 1$:

$$S_{KP} = S_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - [1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$

$$= 0,033 \cdot \frac{2,3 + \sqrt{2,3^2 - [1 - 2 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot (2,3 - 1)} = 0,159 \text{ о.е.}$$

Найдем значения коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{24,239}{2 \cdot 7,2 \cdot 70} = 1,024;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - S_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,033)}{2 \cdot 1,024 \cdot 2,3 \cdot 37 \cdot 10^3} = 0,806$$

Теперь можно определить активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{A_1}{(\beta + 1/S_{KP}) \cdot C_1} = \frac{0.806}{\left(1 + \frac{1}{0,159}\right) \cdot 1,024} = 0.111 \text{ Ом};$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,024 \cdot 0.111 \cdot 1 = 0.113 \text{ Ом};$$

Определим параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания x_{KH} :

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_{KP}^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,159} - 1^2} = 6.228;$$

Найдем значение индуктивного сопротивления короткого замыкания:

$$X_k = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 6.228 \cdot 1,024 \cdot 0,111 = 0.706 \text{ Ом};$$

Найдем индуктивное сопротивление роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_k}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0.706}{1,024} = 0.4 \text{ Ом};$$

Найдем индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_k = 0,42 \cdot 0.706 = 0.296 \text{ Ом};$$

По найденным значениям C_1, R_2' и x_{KH} определим критическое скольжение:

$$S_{k1} = \frac{C_1 \cdot R_2'}{\sqrt{R_1^2 + x_{KH}^2}} = \frac{1,025 \cdot 0.111}{\sqrt{0.113^2 + 0.706^2}} = 0,159 \text{ о.е.}$$

Рассчитанные значения S_{k1} и S_k равны.

Для того чтобы найти ЭДС ветви намагничивания E_1 найдем $\sin \varphi$:

$$\sin \varphi = \sin(\arccos(\cos \varphi)) = \sin \arccos(0,87) = 0,493$$

Найдем ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведенную потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1H} \cdot \sin \varphi - x_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ = \sqrt{(220 \cdot 0,87 - 0,113 \cdot 70)^2 + (220 \cdot 0,493 - 0,296 \cdot 70)^2} = 203,348 \text{ В}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu H} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{203,348}{24,239} = 8,389 \text{ Ом}$$

Найдем синхронную угловую скорость:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Рассчитаем и построим естественную электромеханическую характеристику:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(\omega)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(\omega) \cdot \sin \phi_2}, \text{ где}$$

$$\sin \phi_2 = \frac{x_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + x_{KH}^2}}$$

$I_2'(\omega)$ - значение приведенного тока ротора от скольжения;

$$I_2' = \frac{U_{1H}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{\omega - \omega_0}\right)^2 + (x_{1H} + x_{2H}')^2}}$$

По вышеприведенным формулам рассчитывается естественная электромеханическая характеристика, приведенная на рисунке 13:

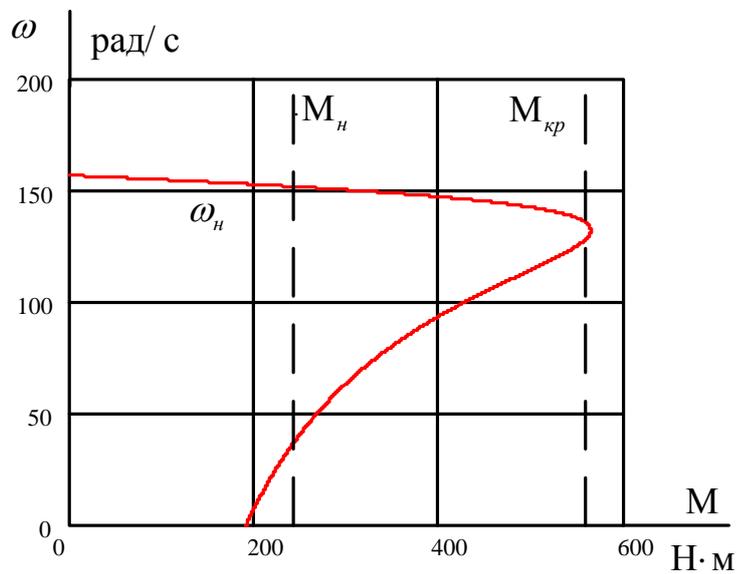


Рисунок 13 - Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

Рассчитаем и построим естественную механическую характеристику по следующей формуле:

$$M(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1H}^2 \cdot R'_2}{\omega_0 \cdot \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{\omega - \omega_0} \right)^2 + x_{кH}^2 \right]}$$

Рассчитаем контрольные точки механической характеристики по паспортным данным:

Номинальная скорость:

$$\omega_n = \omega_0 \cdot (1 - S_n) = 157 \cdot (1 - 0,033) = 151,819 \text{ рад/с ;}$$

$$\text{Момент номинальный: } M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{37000}{151,819} = 243,711 \text{ Н} \cdot \text{м ;}$$

$$\text{Момент критический: } M_{кр} = M_{ном} \cdot k_{макс} = 243,711 \cdot 2,3 = 560,536 \text{ Н} \cdot \text{м ;}$$

$$\text{Момент пусковой: } M_{п} = M_{ном} \cdot k_{п} = 243,711 \cdot 2,2 = 536,165 \text{ Н} \cdot \text{м .}$$

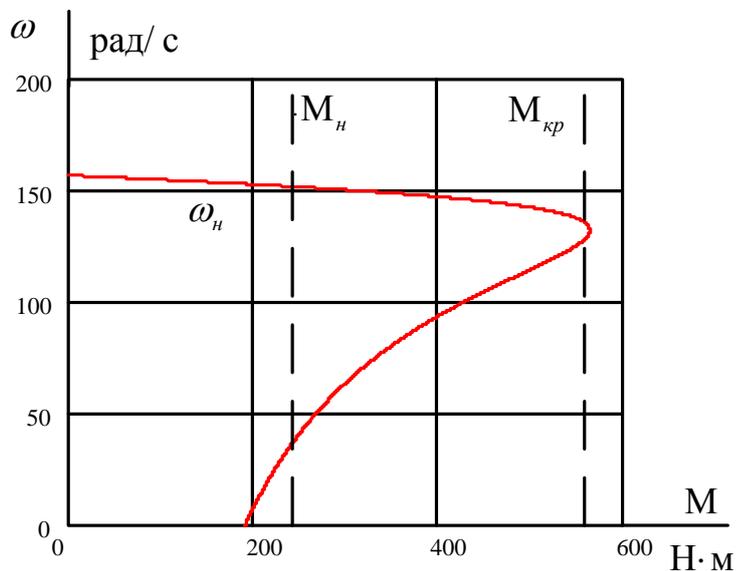


Рисунок 14 - Естественная механическая характеристика
асинхронного двигателя

Расчёт и построение механических и электромеханических характеристик АД для закона регулирования

Расчет характеристик производим для частот $f_1=50; 30; 20; 15$ Гц.

При законе регулирования: $Z_p = \frac{U_{1H}}{f^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088$.

Найдем относительные значения частот питающего напряжения:

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

при $f_{1H2}=25$ Гц $f_{1*2} = \frac{f_{2H}}{f_{1H}} = \frac{25}{50} = 0,5$

при $f_{1H3}=10$ Гц $f_{1*3} = \frac{f_{3H}}{f_{1H}} = \frac{10}{50} = 0,2$

при $f_{1H4}=5$ Гц $f_{1*4} = \frac{f_{4H}}{f_{1H}} = \frac{5}{50} = 0,1$

Найдем фазное напряжение обмотки статора асинхронного двигателя:

$$U_{1H1} = Z_p \cdot f_{1H1}^2 = 0,088 \cdot 50^2 = 220 \text{ В};$$

$$U_{1H2} = Z_p \cdot f_{1H2}^2 = 0,088 \cdot 25^2 = 55 \text{ В};$$

$$U_{1H3} = Z_p \cdot f_{1H3}^2 = 0,088 \cdot 10^2 = 8,8 \text{ В};$$

$$U_{1H4} = Z_p \cdot f_{1H4}^2 = 0,088 \cdot 5^2 = 2,2 \text{ В}.$$

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

$$\omega_{01} = \frac{2\pi \cdot f_{1H1}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{2} = 157,08 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{02} = \frac{2\pi \cdot f_{1H2}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25}{2} = 78,54 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{03} = \frac{2\pi \cdot f_{1H3}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 10}{2} = 31,416 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{04} = \frac{2\pi \cdot f_{1H4}}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 5}{2} = 15,708 \text{ рад/с}.$$

Определим токи холостого хода при данных частотах регулирования:

$$I_{01} = \frac{U_{1H1}}{X_{\mu H}} = \frac{220}{8,389} = 26,224 \text{ A};$$

$$I_{02} = \frac{U_{1H2}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*2}} = \frac{55}{8,389 \cdot 0,5} = 13,112 \text{ A};$$

$$I_{03} = \frac{U_{1H3}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*3}} = \frac{8,8}{8,389 \cdot 0,2} = 5,245 \text{ A};$$

$$I_{04} = \frac{U_{1H4}}{X_{\mu H} \cdot f_{1*4}} = \frac{2,2}{8,389 \cdot 0,1} = 2,622 \text{ A}.$$

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

$$I_2'(s, f) = \frac{U_1(f)}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{KH}^2 \cdot f_{1*}^2(f) + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu H} \cdot f_{1*}(f)}\right)^2}},$$

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

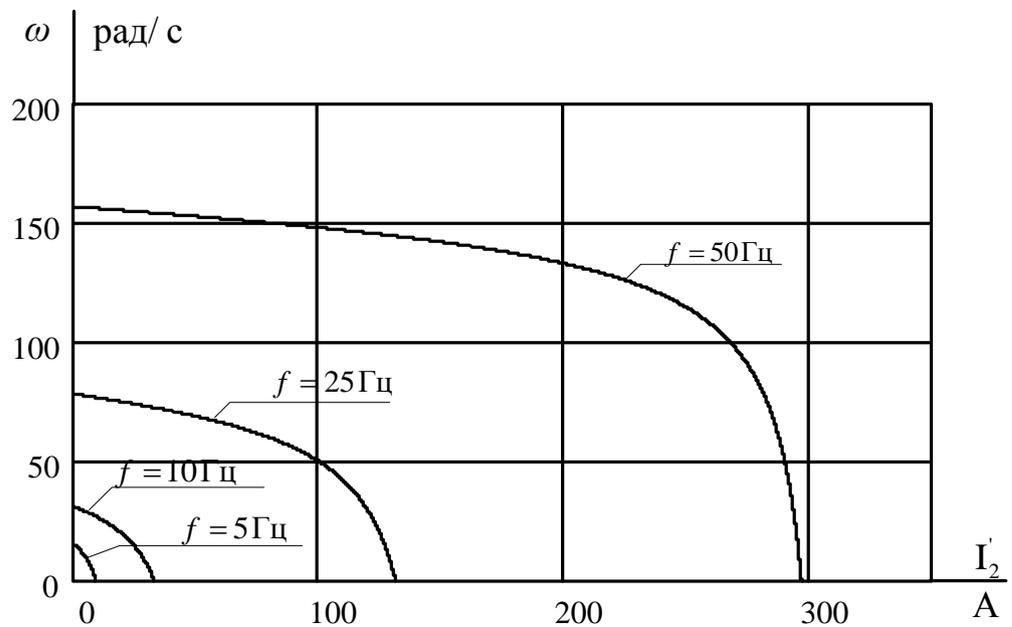


Рисунок 15 - Искусственные электромеханические характеристики $\Gamma_2(\omega)$ для

$$\text{закона регулирования } \frac{U_1}{f_1^2} = const$$

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

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

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

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

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

зависимости от частоты.

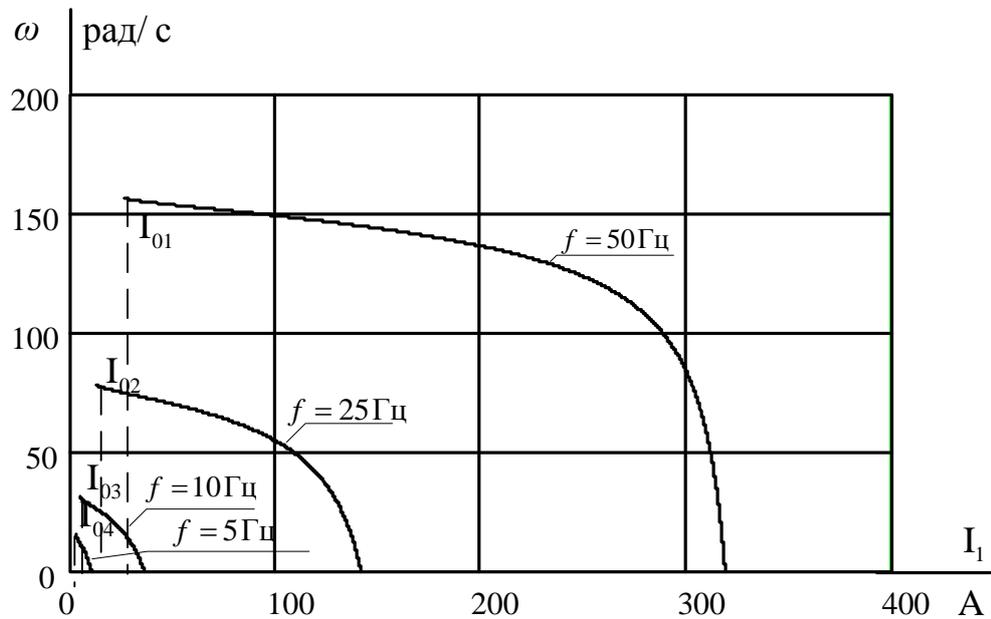


Рисунок 16 - Искусственные электромеханические характеристики $\Pi(\omega)$ для

$$\text{закона управления } \frac{U_1}{f_1^2} = const$$

Механические характеристики асинхронного двигателя $M(\omega)$ (рис. 18) рассчитываем для выбранных по выражениям

$$M(s, f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2 \cdot R_2'}{\omega_0(f) \cdot s \cdot \left[X_{\text{эф}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\text{мн}} \cdot f_{1*}(f)} \right)^2 \right]},$$

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

Критический момент и скольжение можно определить по выражениям

$$M_k(f) = \frac{3 \cdot (U_1(f))^2}{2 \cdot \omega_0(f) \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2)} \cdot \left(1 + \frac{R_1^2}{X_{\text{мн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2} \right) \right]},$$

$$s_k(f) = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{R_1^2}{X_{\text{мн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}}{R_1^2 + X_{\text{мн}}^2 \cdot (f_{1*}(f))^2}},$$

$$\omega_k(f) = \omega(s_k(f), f).$$

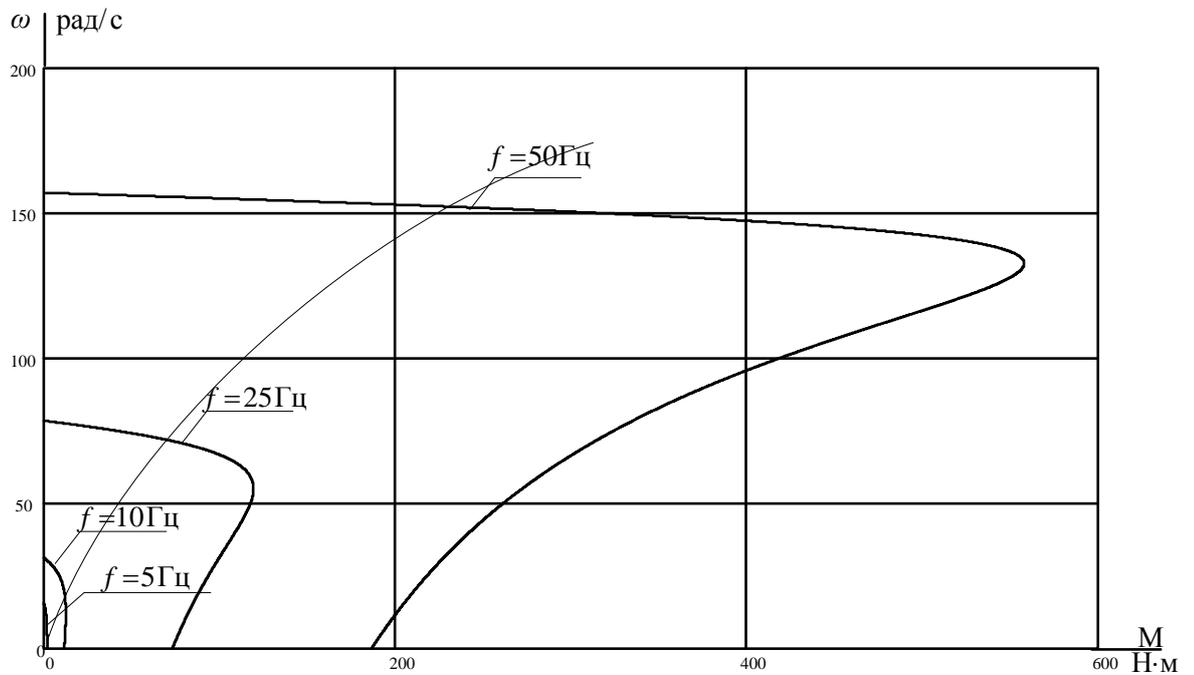


Рисунок 17 - Искусственные механические характеристики $M(\omega)$

для закона управления $\frac{U_1}{f_1^2} = const$

Электромеханические характеристики:

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

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

снижается.

2. $I'_{2кз} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2')^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{U_1}{f} \cong f$ - ток короткого замыкания обратно

квадратному корню из частоты.

Механические характеристики:

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

снижается.

$$2. s_k = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}} \cong \frac{1}{f} ; M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot [R_1 + \sqrt{R_1^2 + X_{кн}^2}]} \cong \frac{U_1^2}{f^2} \cong f^2.$$

Критические момент и скольжение обратно пропорциональны частоте.

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

2.2. Расчет электромеханических переходных характеристик $w = f(t)$ и $M = f(t)$ пуске, набросе и сбросе нагрузки при мгновенном изменении задания

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

Индуктивность фазы обмотки статора:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0,296}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,0009442 \text{ Гн.}$$

Индуктивность фазы обмотки ротора:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{0,4}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,001273 \text{ Гн.}$$

Индуктивность цепи намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu н}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}} = \frac{8,389}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,027 \text{ Гн.}$$

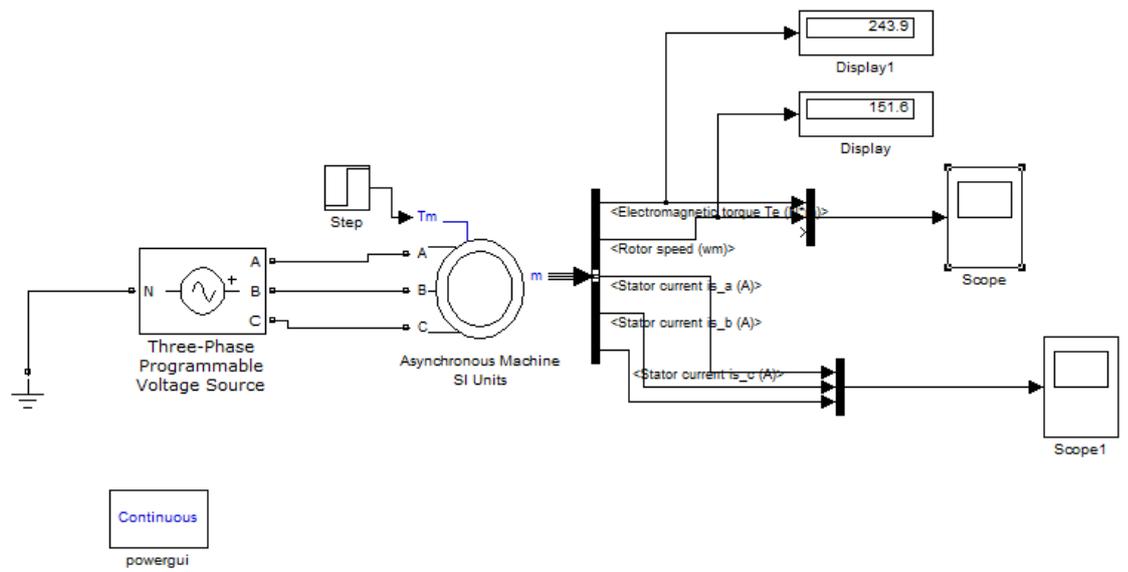


Рисунок 18 - Имитационная модель прямого пуска асинхронного двигателя

Задаем параметры асинхронного двигателя, рисунок 19.

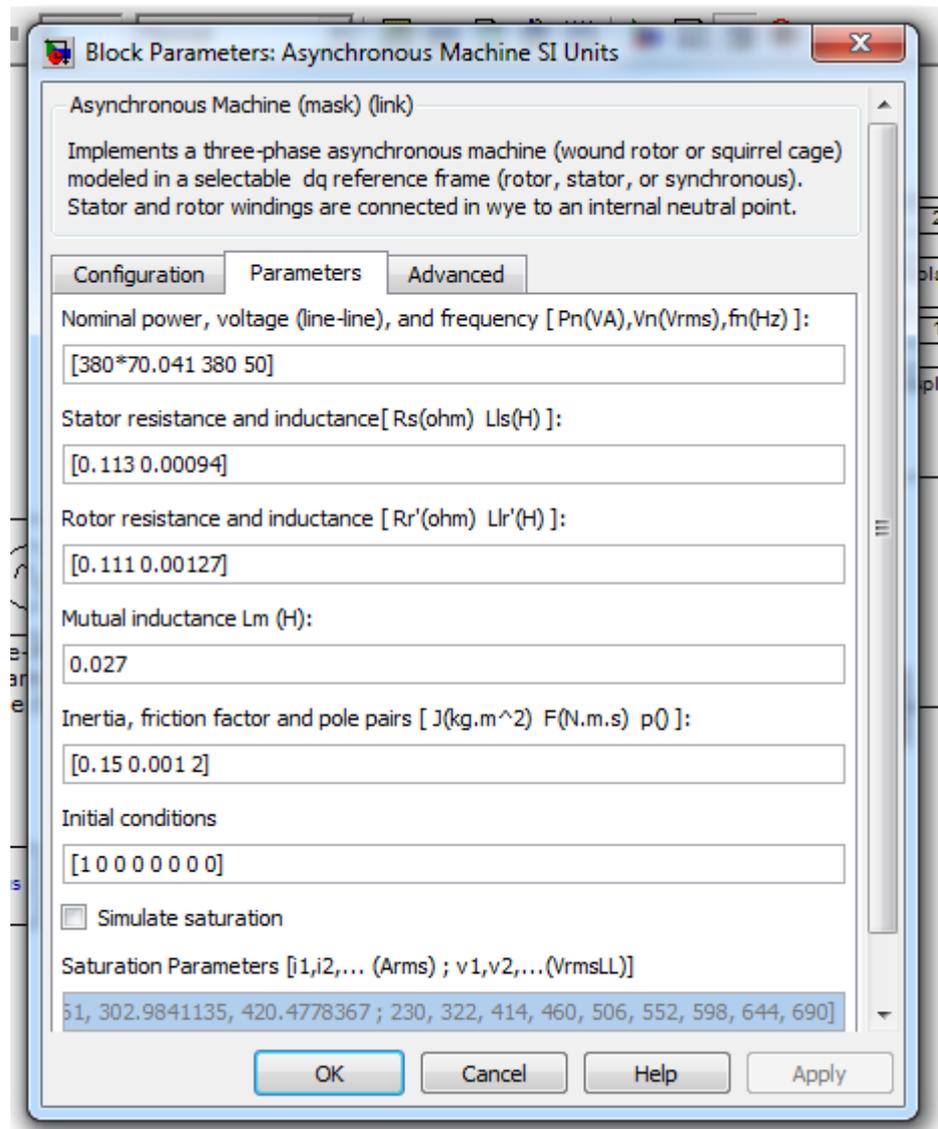


Рисунок 19 - Параметры асинхронного двигателя

Задаем время наброса нагрузки, $t=0,4$ с.

Ниже, на рисунке 20 представлены переходные характеристики скорости и момента при прямом пуске АД при набросе нагрузки.

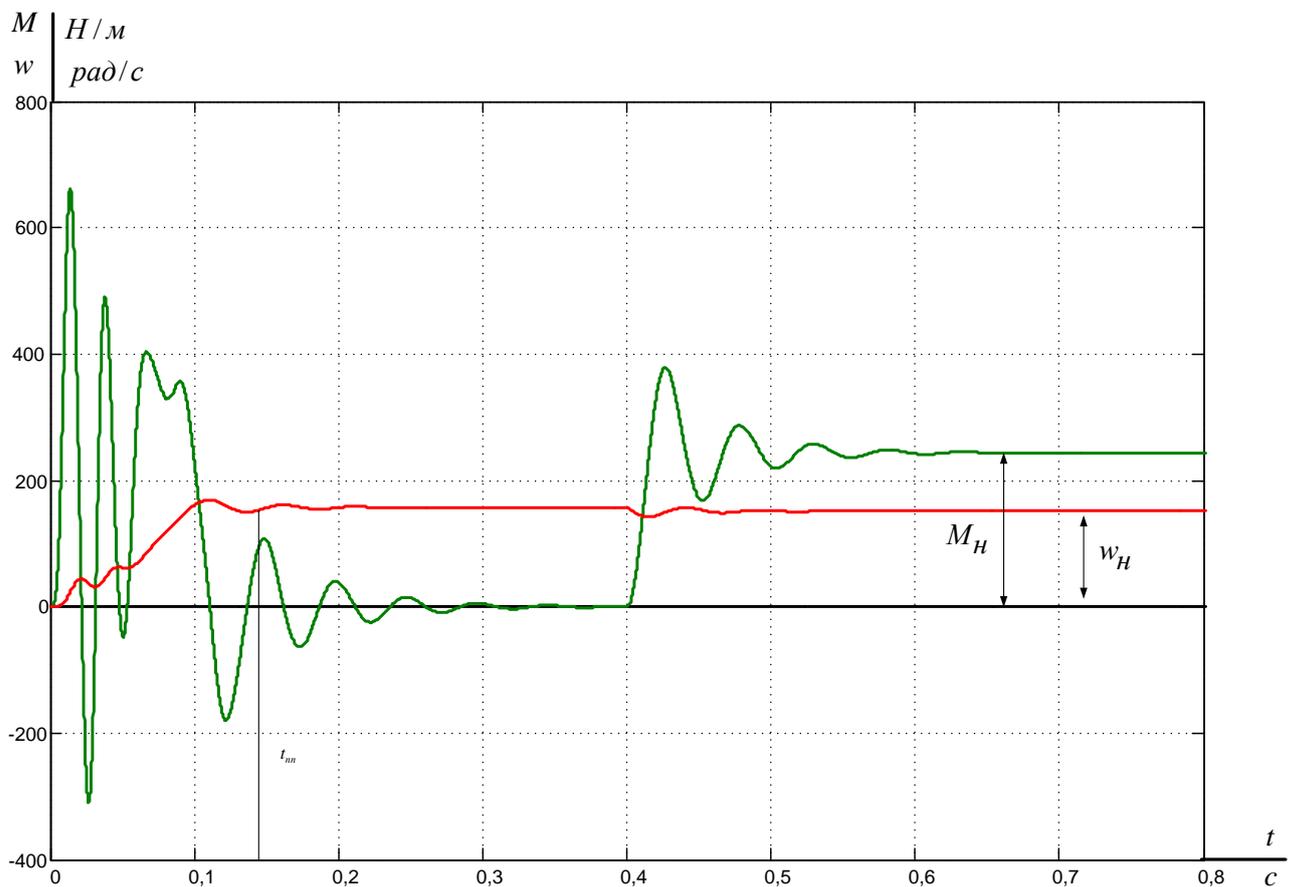


Рисунок 20 - Переходная характеристика скорости и момента двигателя при прямом пуске и набросе нагрузки

Как видно из графиков модель двигателя работает правильно, двигатель выходит на номинальную скорость при номинальной частоте питающей сети. Исходя из полученных переходных характеристик, можно сказать что при пропорциональном уменьшении частоты и напряжения уменьшается величина номинальной скорости и время достижения этой скорости., а также уменьшается электромагнитный момент.

3. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1. Составление силовой схемы регулируемого электропривода

В ПЧ применяется наиболее распространённая для управления короткозамкнутым АД схема ПЧ с АИН и ШИМ напряжение на выходе, неуправляемые выпрямители на вход силовой части схемы и микропроцессорным управления.

Основные элементы, входящие в схему:

UZ – неуправляемый выпрямитель;

L_0, C_0 – фильтр;

RT – термистор, ограничивает ток конденсатора C_0 ;

R_0 – разрядное сопротивление для конденсатора C_0 ;

R, C – цепь защиты от перенапряжения на транзисторах IGBT (снаббер);

RS – датчик тока для организации защиты (FA) от сквозных и недопустимых токов перегрузки через IGBT;

VT – VD – трехфазный инвертор на IGBT с обратным диодным мостом.

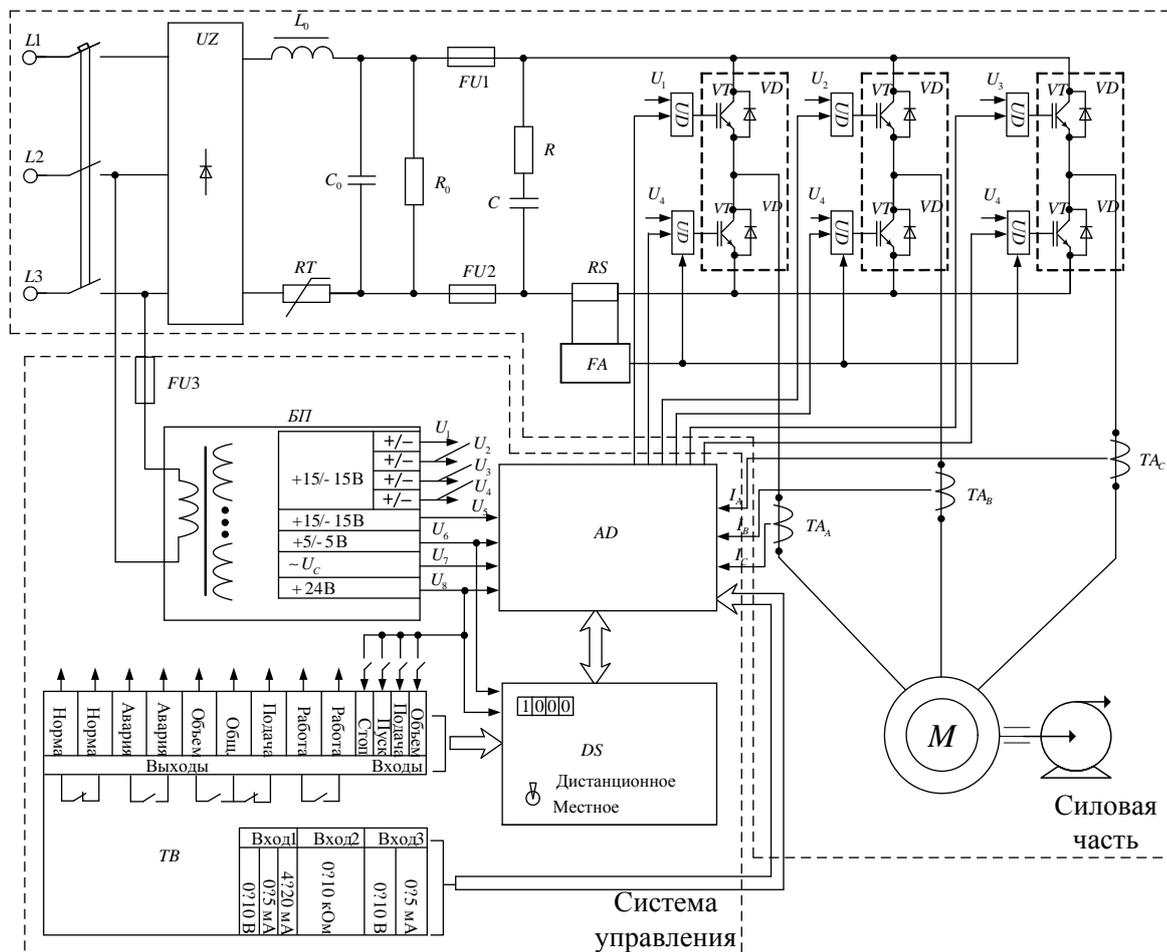


Рисунок 21 - Функциональная электрическая схема асинхронного ЭП с ПЧ

При подаче напряжения 380 В на силовой вход ПЧ в звене постоянного тока происходит процесс заряда конденсатора фильтра C_0 , который определяется значениями RT , L_0 , C_0 . Одновременно с этим в информационную часть схемы подается питание (напряжения $U_1 - U_3$). В процессе выдержки времени на установление напряжений стабилизированных источников питания $U_1 - U_4$ 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 TA_A , TA_B , TA_C , аппаратной защиты FA , напряжения сети U_c , 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 и отключения транзисторов. Несущая частота ШИМ составляет от 5 до 15 кГц. Одновременное замыкание двух ключей в «стойке» инвертора блокируется, для учёта реального времени запираания транзисторов в процесс переключения вводится «мертвое» время, составляющее единицы микросекунд, в течение которого оба ключа разомкнуты.

Микропроцессор TMS 320 2812 позволяет реализовать векторное или скалярное управление координатами двигателя. Структура системы автоматического управления технологическим объектом, в которую включен данный ПЧ, может быть самой разнообразной – от разомкнутой системы до замкнутой обратными связями по нескольким сигналам. Алгоритм управления также зависит от требований технологического объекта. Структура и алгоритм могут быть перепрограммированы.

Силовая часть ПЧ неизменна и пригодна для других способов управления координатами электродвигателя с применением других микропроцессорных средств.

3.2. Составлении схемы управления регулируемого электропривода

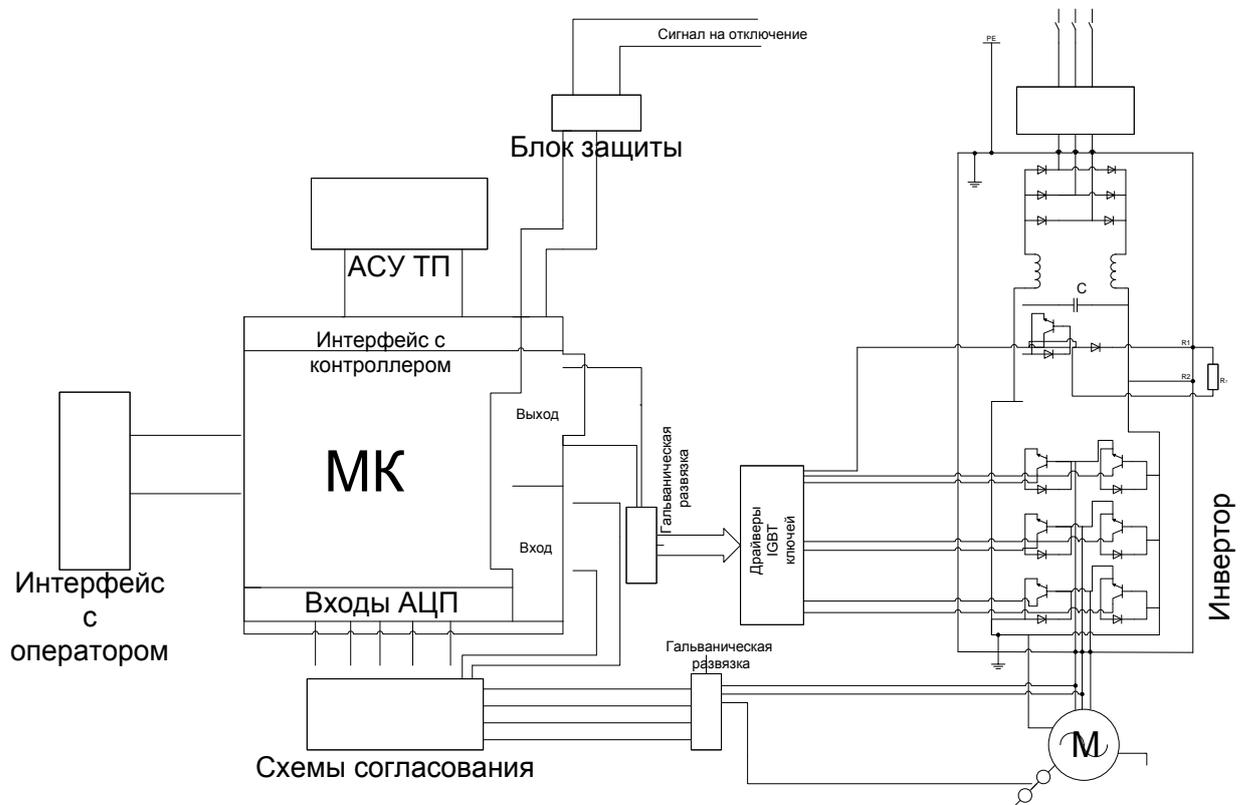


Рисунок 22 - Схема управления регулируемого электропривода

Представленная схема позволяет реализовать микропроцессорное управление как разомкнутых, так и замкнутых систем с обратными связями по нескольким сигналам. В качестве микроконтроллера используется специализированный МК серии Motor Control.

Заключение

В результате разработки дипломного проекта регулируемого электропривода центробежного насоса по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель произведен расчет параметров и выбор основных силовых элементов, расчет и проверка области существования электромеханических характеристик электропривода, построение характеристик таких как: электромеханические характеристики, регулировочные характеристики. Разработаны функциональная и принципиальная схемы регулируемого электропривода. Дано описание их работы.

Также можно сделать вывод, что применение преобразователей частоты на насосных станциях позволяет:

- экономить электроэнергию, за счет организации работы электропривода в зависимости от реального потребления воды (эффект экономии 20-50%);

- уменьшить затраты на плановый и капитальный ремонт сооружений и оборудования (всей инфраструктуры подачи воды), в результате пресечения аварийных ситуаций, вызванных в частности гидравлическим ударом, который нередко происходит в случае использования нерегулируемого электропривода (ресурс службы оборудования повышается минимум в 1,5 раза);

- достичь определенной экономии тепла в системах горячего водоснабжения за счет снижения потерь воды, несущей тепло;

- при необходимости сделать напор выше обычного.

Смоделирована в среде MATLAB 2010 система ПЧ-АД и получены переходные процессы, удовлетворяющие технологическому процессу.

Список литературы

1. Медведев Г.Г., Дорохов А.Р. Введение в курс Насосы, вентиляторы, компрессоры. – Конспект лекций. Томск: Изд. ТПУ, 1998. – 64 с
2. СНиП 2.04.02-84* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения».
3. http://electronpo.ru/dvigatel_air200m
4. http://www.gu-sta.ru/?doc=chast_preobr
5. <http://alltransistors.com/ru/igbt/>
6. Электротехнический справочник: Использование электрической энергии / Под общ.ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 8-е изд., – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 696 с.
7. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Расчет характеристики электроприводов переменного тока. Часть 1. Асинхронный двигатель. Учебное пособие./Томский политехнический университет. – Томск: Издательство ТПУ, 2005.–136 с.
8. <http://www.elektro-portal.com/series/show/kontaktor>
9. <http://www.elektro-portal.com/series/show>
10. <http://www.ruscable.ru/info/cable/>
11. Насосы. Вентиляторы. Кондиционеры: Справочник/Е.М. Росляков, Н.В. Коченков, И.В. Золотухин др., Под редакцией Е.М. Росляков – СПб.: Политехника, 2006. – 822с.
12. <http://electrical.agroserver.ru/elektrostantsii-elektrosnabzhenie/tiristory-i-diody-ot-100-do-2000-amper-9030.htm>
13. http://studopedia.ru/9_200414_lektsiya---ekonomicheskie-i-tehnicheskie-aspekti-proektirovaniya-elektroprivodov-promishlennih-ustanovok-v-energoberegayushchih-rezhimah.html
14. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). “Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.”
15. ГОСТ 12.1.005-88 “Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.”
16. ГОСТ 12.1.003-83 “Шум. Общие требования безопасности.”

17. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
18. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования.”
19. СП 9.13130.2009 “Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации.”
20. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
21. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т “Пожарная безопасность. Общие требования.”
22. ГОСТ Р 50571.3-94 “Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защиты от поражения электрическим током.”
23. Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. — 2013. — № 1 (21). — С. 151—157
24. <http://docs.cntd.ru/document/5200291>