

ВВЕДЕНИЕ

Химическая и нефтехимическая промышленность являются одними из ведущих отраслей России. Их ускоренное развитие определило необходимость решения сложных задач по обеспечению машин и технологических линий химического производства современными автоматизированными электроприводами, то есть комплексом электромеханических и электронных устройств.

Характерной чертой химических производств является высокая энергоёмкость большинства производственных процессов.

На сегодняшний день большинство электроприводов составляют нерегулируемые приводы с асинхронными двигателями. Их применяют в водо- и теплоснабжении, системах вентиляции и кондиционирования воздуха, компрессорных установках и др. Вместе с тем, доля регулируемого привода в общем числе электроприводов неуклонно возрастает. Плавная регулировка скорости вращения в перечисленных выше установках позволяет, в большинстве случаев, отказаться от использования редукторов, вариаторов, дросселей и другой регулирующей аппаратуры. Это значительно упрощает механическую систему, повышает ее надежность и снижает эксплуатационные расходы. Пуск двигателя при подключении через частотный преобразователь происходит плавно, без пусковых токов и ударов, что снижает нагрузку на двигатель и механизмы, увеличивая срок их службы.

Для любого предприятия всегда актуален и вопрос энергосбережения. Применение регулируемого электропривода позволяет получить экономию энергии до 80 %. Это происходит путем устранения непроизводительных затрат в заслонах, дросселях и других регулирующих устройствах.

Внедрение систем электроприводов с частотным регулированием является одним из направлений инновационной политики предприятия, поэтому проектирование автоматизированной системы электропривода насоса с регулированием уровня является актуальной.

Особое внимание в последнее время уделяется расширению области применения регулируемого электропривода, так как он стал основой автоматизации производственного процесса, а это позволит снизить удельные энергетические затраты на выпуск единицы продукции, которые для нефтехимической промышленности весьма высоки.

Электрический привод, совокупность устройств для преобразования электрической энергии в механическую и регулирования потока преобразованной энергии по определённому закону. Электропривод является наиболее распространённым типом привода. Исполнительная часть электропривода состоит обычно из одного или нескольких электродвигателей и передаточного механизма — устройства для передачи механической энергии двигателя рабочему органу приводимой машины. В нерегулируемых электроприводах чаще всего используют электродвигатели переменного тока, подключаемые к источнику питания либо через контактор или автоматический выключатель, играющий роль защитного устройства, либо при помощи штепсельного разъёма (например, в бытовых электроприборах). Частота вращения ротора электродвигателя такого привода, а следовательно, и скорость перемещения связанного с ним рабочего механизма, изменяется только в зависимости от нагрузки исполнительного механизма. В мощных нерегулируемых электроприводах применяют асинхронные.

Для ограничения пусковых токов между двигателем и источником устанавливают пусковые реакторы или автотрансформаторы, которые после разгона двигателя отключают. В регулируемых электроприводах чаще всего применяют электродвигатели постоянного тока, частоту вращения якорей которых можно изменять плавно, т. е. непрерывно, в широком диапазоне при помощи достаточно простых устройств управления.

К важным показателям, определяющим характеристики устройств управления регулируемого электропривода, следует отнести плавность регулирования режима работы рабочего механизма, во многом зависящую от

плавности регулирования приводного электродвигателя, и быстродействие.). Регулирование режимов работы исполнительных механизмов электропривода обычно осуществляют при помощи устройств автоматического управления. Такой электропривод, называется автоматизированным, широко используется в системах автоматического управления.

Насосные станции представляют собой сложный электрогидравлический технический комплекс сооружений и оборудования, в котором осуществляется преобразование электрической энергии в механическую энергию потока жидкости и управление этим процессом преобразования. Основным назначением насосных станций является обеспечение требуемого графика подачи жидкости для нормальных и аварийных условий; наименьших затрат на сооружение, оснащение и эксплуатацию; требуемой степени надежности и, следовательно, определенной степени бесперебойности работы; долговечности, соответствующей технологической значимости объектов, в состав которых они входят; удобства эксплуатации (широкое применение автоматики и телемеханики); эксплуатации при непрерывно изменяющихся объемах, режимах потребления жидкости и изменяющемся составе потребителей.

Насосные станции находят широкое применение в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве. Они характеризуются большим разнообразием функций, схем соединения насосов при совместной работе.

В зависимости от назначения можно выделить следующие виды насосов: хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий; оборотного водоснабжения промышленных предприятий; канализационные; систем теплоснабжения; дренажные; противопожарного водоснабжения; мелиоративные; нефтеперекачивающие и др.

1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ПЕРЕКАЧИВАЕМОГО ПРОДУКТА

Изобутан — бесцветный газ без запаха, растворяется в органических растворителях, с водой образует клатраты. Содержится в газовом конденсате и нефтяных газах. Горюч. Экологические характеристики и пожароопасность: ODP NGWP GWP ПДК Класс опасности 4. Транспортировка и хранение: заливают в железнодорожные цистерны, а также в баллоны, вместимостью от 32 до 120 дм³, в контейнеры и другие сосуды, рассчитанные на давление 2 МПа. Коэффициент заполнения 0.5 кг продукта на 1 дм³ вместимости сосуда. Перевозят любым видом транспорта. Хранят в складских помещениях, обеспечивающих защиту от солнечных лучей. Температура кипения изобутана – -11,73 °С. Бензин несколько легче дизельного топлива – его плотность составляет 551 кг/см³.

Молярная масса – 58,12 г/моль, плотность – 551 кг/см³, Термосвойства: температура кипения – - 11,73 °С, температура самовоспламенения - 460°С .

Формула – C₆H₁₀.

Откачка происходит из резервуара Е1 в резервуар Е2 при помощи центробежных горизонтальных одноступенчатых консольных химических насосов серии Х. Агрегаты электронасосные центробежные типа «АХО» предназначены для перекачивания химических активных и нейтральных жидкостей плотностью не более 1850кг/м³, содержащих твердые включения в количестве не более 0,1% по объему размером частиц не более 0,2 мм, кинематическая вязкость до 30×10⁻² мг/с Температура перекачиваемой жидкости от 233 до 393 К (от -40 до +120-С). Относятся к центробежным насосам.

Условное обозначение:

X100-80-160-Д

Х - химический (горизонтальный консольный, с опорой на корпусе)

Диаметр входного патрубка - 100 мм;

Диаметр выходного патрубка - 80 мм;

Номинальный диаметр рабочего колеса - 160 мм;

Д - условное обозначение материала проточной части;

Оптимальная подача – 100 м³/ч

Оптимальный напор – 32 м

Синхронная частота вращения – 2900 об/мин

Мощность электродвигателя – 30-37 кВт

Габаритные размеры - 1385x514x520 мм

Масса – 340 кг

Плотность гидросмеси, до - 1850 кг/м³

Кинематическая вязкость перекачиваемой жидкости - 0,3 см²/с

Температура перекачиваемой жидкости от -40°С до +120°С

Характеристики насоса:

Химическая линия оснащена двумя задвижками (всасывающая и напорная, 1 и 2 соответственно) для аварийного перекрытия в случае аварии.

Технологическая схема представлена на рисунке 1.

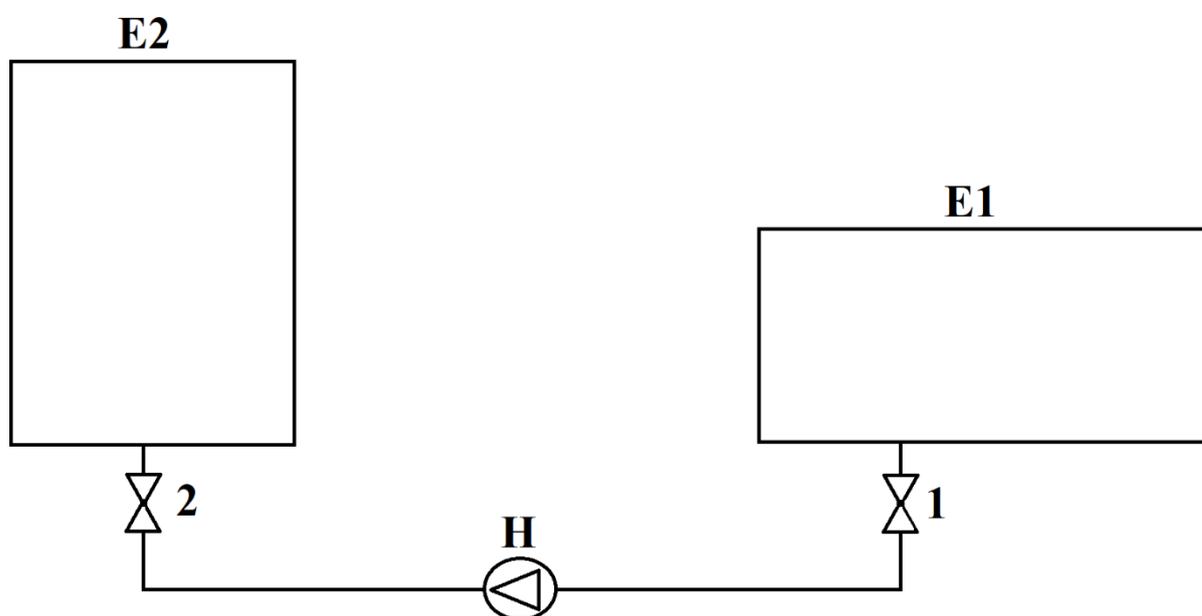


Рисунок 1 – Технологическая схема

2 РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ К ЭЛЕКТРОПРИВОДУ

К требованиям, предъявляемым к электроприводу насоса подачи бензина, относятся:

- обеспечение заданного технологического процесса и требуемой производительности, требуется перекачать бензин с напором $Q = 100$ м³/час;

- обеспечение требуемых условий пуска и торможения (в том числе по величине ускорения) производственных механизмов, а при необходимости реверсирования и регулирования скорости;

- ограничение динамических и ударных перегрузок;

- принципы управления электроприводом (ручное, автоматическое, программное), автоматическое управление по сигналу с датчика расхода;

- требование по надежности, которые, как правило, отражаются на работе и отказе;

- требования по конструктивной защищенности электрооборудования по условиям окружающей среды, по климатическому исполнению;

- экономические показатели, к которым следует относить не только минимальную стоимость электропривода, но и затраты на электроэнергию

при его работе;

- экологические требования (уровень шума, ограничение влияния электропривода на питающую сеть).

К системе электропривода насоса предъявляются следующие основные требования:

- обеспечить автоматическое поддержания технологического параметра расхода;

- статическая ошибка регулирования расхода не более 5%;

- обеспечить плавный пуск насоса;

- обеспечить плавное регулирование скорости вращения ротора электродвигателя в диапазоне $D=1:2$;

- так как насос работает в длительном режиме, то его электропривод должен быть рассчитан на работу большим числом часов в году; нагрузка на валу постоянная без перегрузок;

- электрооборудование размещается в помещении с искусственно регулируемые климатическими условиями (в закрытом помещении);

- ограничения влияния электропривода на питающую сеть;

- отсутствие реверса;

- отсутствие торможения.

3. ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

3.1 Расчет Q-H характеристики

Характеристики насосной установки строят для того, чтобы определить точки установившегося режима работы в заданном диапазоне регулирования скорости.

Установившийся режим работы насоса при постоянной скорости определяется графическим способом. При этом необходимо найти точку пересечения соответствующей Q-H – характеристики насоса и характеристики магистрали, подключенной к насосу.

Характеристику магистрали строят по уравнению

$$H_m = H_{ст} + R \cdot Q^2 .$$

где – H_m напор в магистрали, м;

H_m - статический напор магистрали, м;

R – гидравлическое сопротивление, ч²/м⁵;

Q – подача насоса, м³/ч.

Гидравлическое сопротивление линии R определяют, используя номинальные данные насоса и известный статический напор, по формуле:

$$R = \frac{H_H - H_{ст}}{Q_H^2}, \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

$$R = \frac{32 - 8}{100^2} = 0,0024, \text{ ч}^2/\text{м}^5.$$

Таким образом, уравнение для построения характеристики магистрали имеет вид:

$$H_m = 8 + 0,0024 \cdot Q^2 .$$

Для построения Q –H-характеристики необходимого насоса воспользуемся научной литературой: *Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования.*

Справочник. Том 1

Q –H-характеристики для нижнего диапазона регулирования скорости рабочего колеса насоса получают с помощью уравнений пропорциональности:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_1}{n_2}, \quad (3.3)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2. \quad (3.4)$$

Где $n_2 = n_1 / 2$

Подобрав несколько точек (Q_1, H_1) и подставляя в формулы выше, можно построить Q – H характеристику для нижнего диапазона регулирования скорости рабочего колеса насоса.

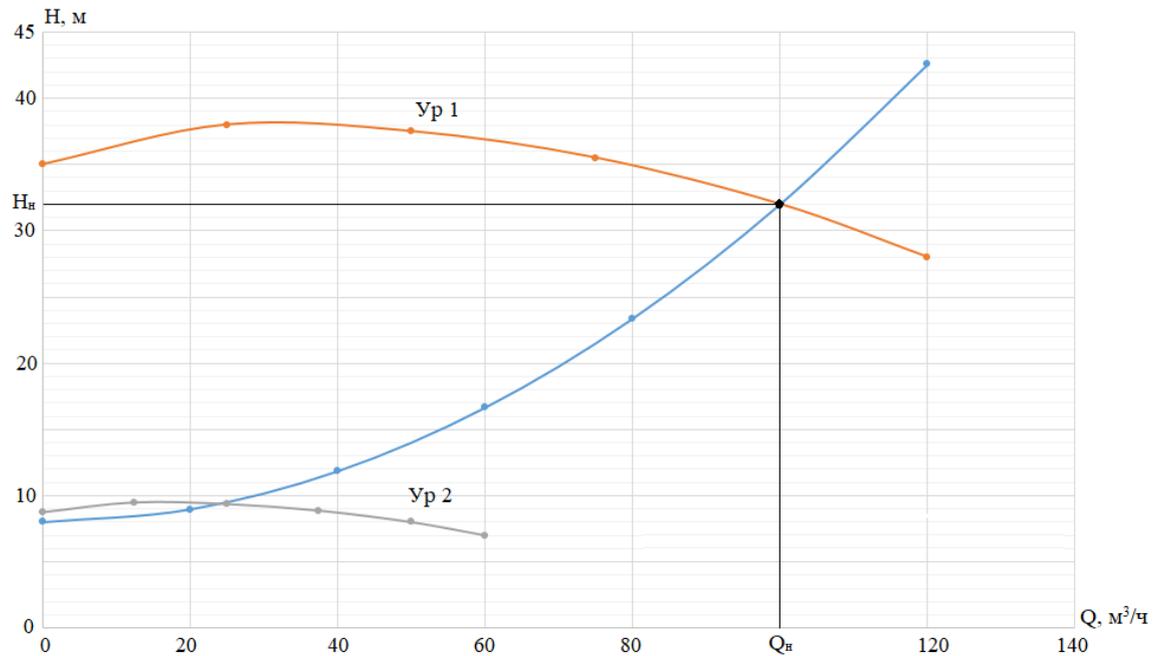


Рисунок 2-Q – H характеристики насосной установки

На рис. 2 точки Ур 1, Ур 2 соответствуют установившемуся режиму работы в диапазоне $D = \frac{\omega_n}{0,5 \cdot \omega_n} = 2$.

Вывод: исходя из приведенных расчетов принимаем диапазон регулирования $D = 1:2$, статическую ошибку регулирования примем 5%.

4 ВЫБОР СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

Как правило, насосы оснащаются асинхронными двигателями. Асинхронные двигатели являются наиболее массовыми электрическими двигателями, эти двигатели выпускаются мощностью от 0,1 кВт до нескольких тысяч кВт и находят применение во всех отраслях хозяйства.

Электротехническая промышленность выпускает асинхронные двигатели в большом диапазоне мощностей. Предельная мощность асинхронных двигателей – несколько десятков мегаватт. В индикаторных системах применяются асинхронные двигатели мощностью от долей ватта до сотен ватт. Частота вращения двигателей общего назначения – от 3000 до 500 об/мин. Основным достоинством является простота его конструкции и невысокая стоимость. Однако по принципу действия асинхронные двигатели в обычной схеме включения не допускают регулирования скорости его вращения.

4.1 Способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя

1) Регулирование за счет изменения напряжения подводимого к обмотке ротора.

При изменении напряжения пропорционально ему меняется электромагнитный момент, жесткость характеристики уменьшается. Жесткость характеристики падает, что приводит к изменению рабочего скольжения.

Данный способ применяется, когда имеется источник регулирующего напряжения. Диапазон регулирования небольшой. Например, можно только уменьшать вниз от номинального значения при этом уменьшится перегрузочная способность.

Недостаток данного способа – невысокий к.п.д., определяемый большими потерями в энергии скольжения.

2) Переключение числа пар полюсов.

Применяется для регулирования частоты вращения в соотношении 1:2, 1:3, 1:4, и так далее. В данном случае применяются двигатели специального исполнения, имеющие на статоре одну или несколько обмоток соответствующими выводами, за счет переключения которых можно изменять число пар полюсов.

Чаще всего применяются двигатели на две рабочие скорости, реже три и четыре. На большее количество скоростей двигатели не применяются в связи со сложностью выполнения обмотки и усложнения системы коммутации.

Основной недостаток этого способа – ступенчатое регулирование и небольшое число скоростей (до четырех).

3) Изменение частоты напряжения подводимого к обмотке статора.

Для его применения необходимо иметь специальные источники электрической энергии с регулируемой частотой и напряжением, т.е. преобразователей частоты, применяемые для регулирования частоты вращения как вверх от номинала, так и вниз. Однако при уменьшении частоты вращения магнитного поля индуктивное сопротивление и уменьшаются, так как при этом возрастает величина тока в обмотке статора и, следовательно, увеличивается нагрев.

При уменьшении частоты увеличивается магнитный поток машины, приводящий к насыщению магнитной цепи, при увеличении частоты индуктивное сопротивление возрастает, величина тока уменьшается, но при этом уменьшается магнитный поток машины, что снижает перегрузочную способность двигателя.

Для того, чтобы при регулировании частоты в обмотке статора температура рабочих частей оставалась постоянной, а также оставалась постоянной перегрузочная способность двигателя, то есть максимальный момент и поток машины, одновременно при регулировании частоты

необходимо изменять действующее напряжение обмотки статора, то есть

$$I_1 = const, \Phi = const, M_m = const, \frac{U_1}{f_1} = const.$$

Данный способ регулирования позволяет регулировать частоту вращения в широком диапазоне при высоких показателях качества регулирования.

Однако для реализации данного способа требуется применение дорогих, сложных и требующих квалифицированного обслуживания преобразователей частоты, что определило опережающее развитие и широкое применение частотно регулируемого асинхронного электропривода. Основными достоинствами системы регулируемого электропривода являются:

- плавность регулирования и высокая жесткость механических характеристик;
- высокая точность, необходимая для реализации технологических процессов;
- экономичность регулирования, определяемая тем, что двигатель работает малыми величинами абсолютного скольжения, и потери в двигателе не превышают номинальных;
- высокая надежность и безопасность функционирования.

Учитывая эти достоинства, регулирование скорости вращения двигателя будем производить путем изменения частоты питающего напряжения.

Существуют следующие законы регулирования. В зависимости от видов нагрузки закон управления напряжением и частотой имеет различные формы. Например, при постоянном моменте нагрузки ($M_c = const$) соотношение

приобретает вид $\frac{U_1}{f_1} = const$; при постоянной мощности ($M_c = K \cdot \omega - 1$) –

$\frac{U_2}{f} = const$; при «вентиляторной» нагрузке ($M_c = K \cdot \omega^2$) - $\frac{U}{f_2} = const$. В

основу управления преобразователем частоты положен закон при «вентиляторной» нагрузке.

4.2 Анализ кинематической схемы электропривода насоса

Механическая часть электромеханической системы включает в себя все движущиеся массы: двигателя, передаточного устройства и исполнительного механизма машины. К ротору двигателя приложен электромагнитный момент M , под действием которого механическая часть приводится в движение до скорости ω и на рабочем органе машины совершается предусмотренная технологией механическая работа. Непосредственное представление о движущихся массах установки и механических связях между ними дает кинематическая схема электропривода.

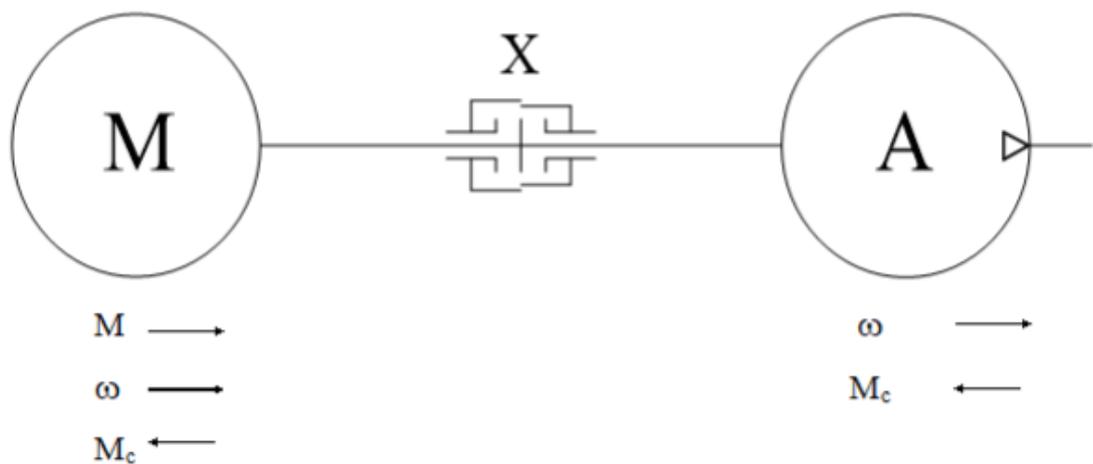


Рисунок 4.1 – Кинематическая схема насоса.

Параметры кинематической схемы:

J1 – двигатель.

J2 – насос.

C12 – соединительная муфта.

J1 – Момент инерции ротора электродвигателя.

J2 – Момент инерции ротора колеса насоса.

C12 – Жесткость механической связи.

M_{c1} – Статический момент двигателя, включающий в себя торможение моментом от трения подшипников и упругого момента.

M_{c2} – Момент инерции торможения на валу рабочего колеса насоса.

В нашем случае вал двигателя соединен с валом насоса через полумуфту. Пренебрегая упругостью муфты и скручиванием валов считаем данную механическую связь абсолютно жесткой, на основании чего электромеханическую систему считаем одномассовой (рисунок 4.2).

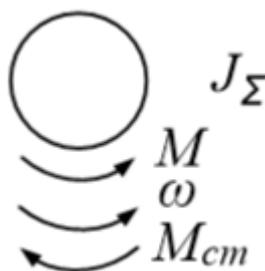


Рисунок 4.2

Динамика системы описывается следующими уравнениями:

$$M - M_{ct} = J_{\Sigma} d\omega/dt \quad (4.1)$$

$$M(p) - M_{ct}(p) = J_{\Sigma}(p) \cdot \omega \quad (4.2)$$

Суммарный момент инерции J_{Σ} , кг·м², равен:

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_{нас} = 0,343 + 1,72 = 2,063 \text{ кг·м}^2 \quad (4.3)$$

где $J_{дв}$ – момент инерции двигателя (см. главу 3, $J_{дв} = 0,343$)

Примем ориентировочно $J_{нас} = 5 \cdot J_{дв}$

$J_{нас} = 1,72 \text{ кг·м}^2$ – момент инерции насоса.

Это уравнение - основное уравнение движения электропривода. Поэтому с его помощью можно по известному электромагнитному моменту двигателя и значениям $M_{ct}; J_{\Sigma}$ оценить среднее значение ускорения электропривода, предсказать время, за которое двигатель достигнет заданной скорости, и решить многие другие практические вопросы даже в тех случаях, когда влияние упругих связей в системе существенно.

К ротору двигателя приложен электромагнитный момент двигателя, а также моменты сопротивления движению: , который представляет собой момент потерь на валу самого двигателя и , обусловленный потерями создаваемыми насосом.

$$M_C = M_{C1} + M_{C2}, \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (4.4)$$

Определим нагрузку M_{C1} и M_{C2} . Принимается, что момент составляет 5% от номинального момента двигателя, Н·м:

$$M_{C1} = 0,05 \cdot M_{ном}, \quad (4.5)$$

где $M_{ном}$ – номинальный момент насоса, Н·м

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}, \quad (4.6)$$

где $\omega_{ном} = 152$ - номинальная угловая скорость вращения насоса, рад/с.

Определим номинальную мощность насоса, $P_{ном}$., Вт по формуле:

$$P_{ном} = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot 9,8}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_k}, \text{ Вт} \quad (4.7)$$

где $\rho = 551$ – плотность, кг/м³;

$Q = 100$ – производительность насоса, м³/ч;

$H = 32$ – полный напор, м;

$\eta_n = 0,7$ – коэффициент полезного действия насоса;

$\eta_k = 1$ - коэффициент полезного действия передачи.

$$P_{ном} = \frac{100 \cdot 32 \cdot 551 \cdot 9,8}{1000 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 3600} = 6,857 \text{ кВт}.$$

Определим номинальный момент насоса, $M_{ном}$. (формула 15), Н·м:

$$M_{ном} = \frac{6,857}{304} = 22,579 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

По формуле (4.5) найдём момент M_{C1} :

$$M_{C1} = 0,05 \cdot 22,579 = 1,13.$$

Основную долю M_{C2} составляет вентиляторная нагрузка, пропорциональная.

Момент M_{C2} складывается из момента потерь на трение в подшипниках рабочего колеса ΔM_n и скорости вращения рабочего колеса ω_2 и определяется по формуле:

$$M_{C2} = \Delta M_n + (M_n - \Delta M_n) \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_n}\right)^2, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (4.8)$$

где ΔM_n – момент механических потерь насоса, Н·м и определяется по формуле

$$\Delta M_n = 0,12 \cdot M_n, \quad (4.9)$$

$$\Delta M_n = 0,12 \cdot 22,579 = 2,71 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Тогда по формуле получим

$$M_{C2} = 2,71 + (22,579 - 2,71) \cdot \left(\frac{\omega_2}{304}\right)^2 = 2,71 + 0,000215 \cdot \omega_2^2.$$

Полученное уравнение движения в данном случае нелинейное в связи с нелинейной зависимостью M_{C2} от ω_2 .

Определим статический момент нагрузки M_C , Н·м:

$$M_{C2} = 1,129 + 2,71 + 0,000215 \cdot \omega_2^2 = 3,84 + 0,000215 \cdot \omega_2^2.$$

Для построения механической характеристики $M_C = f(\omega_2)$ составляется таблица значений 4.1.

Таблица 4.1

| | | | | | | |
|--------------------|------|------|-------|-------|--------|-------|
| ω_2 , рад/с | 0 | 60 | 120 | 180 | 240 | 304 |
| M_C , Н·м | 3,84 | 4,61 | 6,935 | 10,81 | 16,223 | 23,71 |

По данным значениям строится механическая характеристика насоса, приведенная на рисунке 4.3.

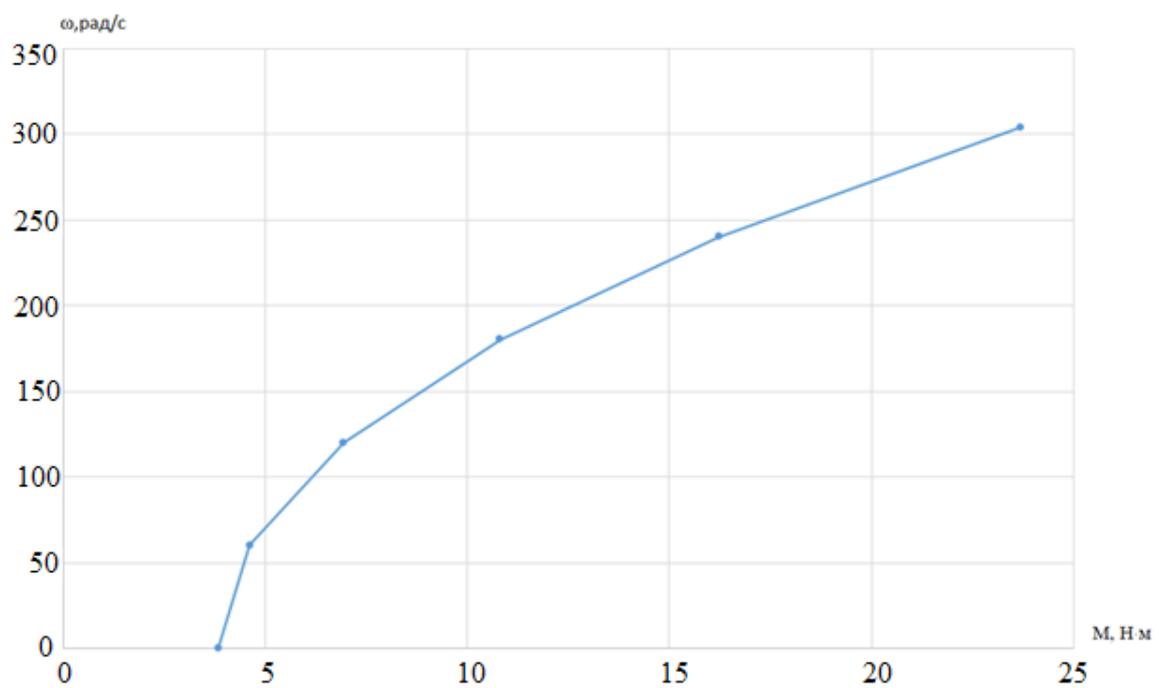


Рисунок 4.3

5 ВЫБОР ДВИГАТЕЛЯ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В зависимости от нагрузочной диаграммы электродвигателя различают восемь режимов работы: S1...S8. Режимы S1...S3 являются основными. Их номинальные данные включаются в паспорт и каталоги на электродвигатель:

- продолжительный номинальный режим (S1);
- кратковременный номинальный режим (S2);
- повторно-кратковременный номинальный режим (S3).

Номинальные режимы S4...S8 введены для того, чтобы упростить задачу выбора электродвигателей, работающих в этих режимах. Здесь ограничимся лишь упоминанием этих режимов: повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками - S4; повторно-кратковременный режим работы с частыми пусками и электрическим торможением – S5; перемежающий режим работы – S6, когда после периода работы электродвигатель не отключается, а продолжает работать в холостую (время цикла принимается 10 минут); перемежающий режим работы с частыми реверсами – S7; перемежающий режим работы с двумя и более скоростями – S8.

В нашем случае электродвигатель работает в продолжительном номинальном режиме S1.

Продолжительный номинальный режим (S1) – режим работы электродвигателя при неизменной нагрузке такой продолжительности, при которой превышение температуры электродвигателя достигает установившегося значения. Графики изменения момента M , потерь мощности ΔP и температуры τ^0 , соответствующие режиму S1.

В паспортных данных двигателя указываются номинальная мощность P_n , скорость вращения n , напряжение U_n , ток I_n , соответствующие режиму S1.

1. Определяется мощность производственного механизма P , кВт, если нагрузка за время работы изменяется, то определяется эквивалентная мощность (момент или ток).

$$P = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta_{TM}}, \text{ кВт} \quad (5.1)$$

где ρ – плотность среды, подаваемая насосом, кг/м³;

Q – производительность или расход, м³/с;

H – напор, м.ст.жид.;

η_{TM} – КПД насоса, %.

2. По каталогу выбирается электродвигатель из условия:

$$P_{\text{дв}} > K_3 \cdot P, \quad (5.2)$$

где $P_{\text{дв}}$ – номинальная мощность электродвигателя по каталогу;

$K_3 = 1,05 \div 1,2$ – коэффициент запаса, учитывающий неточности расчета сил сопротивления.

3. Электродвигатель при необходимости проверяется на перегрузочную способность по условиям пуска:

$$M_{\text{макс}} > K_3 \cdot (M_C + M_\partial), \quad (5.3)$$

где M_C , M_∂ – статический и динамический моменты сопротивления.

$$P = \frac{551 \cdot 100 \cdot 32}{102 \cdot 0,7 \cdot 3600} = 6,857 \text{ кВт},$$

$$P_{\text{дв}} > 7,885 \text{ кВт},$$

С учетом коэффициента запаса выбираем электродвигатель, серии АИР132М2, электродвигатель трехфазный асинхронный короткозамкнутый.

Общепромышленные асинхронные электродвигатели АИР 132 М2, АИР 132 М4, АИР 132 М6, АИР 132 М8 изготавливаются по умолчанию:

- на двойное напряжение 380/660В, для двигателей АИР132М4, АИР132М2 и 220/380В, для эл-двигателей АИР132М6, АИР132М8. Изготовление

электродвигателей на другое напряжение производится по заказу.

- климатического исполнения У, категории размещения - 2 (эксплуатация под

навесом, отсутствие прямого воздействия осадков и солнечного излучения), или 3 (эксплуатация в закрытых помещениях без регулирования климатических условий).

- режим работы - продолжительный, S1.
- степень защиты - IP54, 55 (содержание нетокопроводящей пыли в воздухе до 100 мг/м³, двигатель защищен от брызг воды с любого направления).

Изготовление электродвигателей с повышенным скольжением, двумя концами вала, встроенным датчиком температурной защиты и другие спец. исполнения, производится под заказ.

Монтажное исполнение двигателей:

- на лапах (IM 1081, 1001, 1011)
- фланцевые (IM 3081, 3001, 3011) или фланцевые недоступные с обратной стороны (IM 3681)
- комбинированные, лапы+фланец (IM 2081, 2001, 2011).

Технические характеристики двигателя приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

| Электро-двигатель | Мощность | Об/мин | Ток при 380В, А | КПД, % | Коэф. мощн. | Ip/ In | Mп/ Mн | Mmax/ Mн | Момент инерции, кг·м ² | Масса, кг |
|-------------------|----------|--------|-----------------|--------|-------------|--------|--------|----------|-----------------------------------|-----------|
| АИР160S4 | 11 кВт | 2910 | 21,1 | 0,88 | 0,9 | 7,5 | 1,6 | 2,0 | 0,0227 | 78 |

Определение параметров производится по паспортным данным.

4. Номинальную скорость вращения ротора двигателя;

$$n_n = n_s \cdot (1 - S_n); \text{ об/мин,} \quad (5.4)$$

где n_s – синхронная скорость (магнитного поля), об/мин;

S_n – номинальное скольжение, %.

$$n_n = 3000 \cdot (1 - 0,03) = 2910 \text{ об/мин.}$$

5. Определим угловую частоту вращения ротора двигателя по формуле:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}, \text{ рад/с} \quad (5.5)$$

где n_n – номинальная скорость вращения ротора двигателя, об/мин;

ω_n – номинальная угловая частота вращения ротора двигателя, рад/с.

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 2910}{30} = 304,73 \text{ рад/с,}$$

6. Определим номинальный момент двигателя по формуле:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (5.6)$$

где M_n – номинальный момент двигателя, Н·м;

P_n – номинальная мощность, Вт.

$$M_n = \frac{11000}{304,73} = 36,1 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

7. Определим максимальный момент двигателя из соотношения перегрузочной способности:

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_n} = 2 \quad (5.7)$$

$$M_{\max} = 2 \cdot M_n, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{\max} = 2 \cdot 36,1 = 72,2 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

8. Определим пусковой момент двигателя из соотношения:

$$\frac{M_{II}}{M_n} = 1,6 \quad (5.8)$$

$$M_{II} = 1,6 \cdot M_n, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$M_{II} = 1,6 \cdot 36,1 = 57,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

9. Определим пусковой ток двигателя из соотношения:

$$\frac{I_{II}}{I_n} = 7,5 \quad (5.9)$$

$$I_{II} = 7,5 \cdot I_n, \text{ А}$$

$$I_{II} = 7,5 \cdot 36,1 = 158,25 \text{ А}$$

10. Для определения критического скольжения S_K воспользуемся уточненной формулой Клосса:

$$S_n = \frac{(n_0 - n_n)}{n_0} = \frac{(3000 - 2910)}{3000} = 0,03$$

$$S_K = S_n \cdot (\lambda + \sqrt{(\lambda^2 - 1)})$$

$$S_K = 0,03 \cdot (2 + \sqrt{(2^2 - 1)}) = 0,15 \quad (5.10)$$

отсюда $S_K = 0,15$

при этом принимаем минимальное скольжение:

$$S_{\min} = 0,08 \cdot S_K \quad (5.11)$$

$$S_{\min} = 0,08 \cdot 0,15 = 0,012$$

Максимальное скольжение:

$$S_{\max} = 0,6 \cdot S_K \quad (5.12)$$

$$S_{\max} = 0,6 \cdot 0,15 = 0,09$$

11. Определим угловую частоту вращения ротора двигателя при критическом скольжении S_K , и при минимальном и максимальном скольжении S_{\min} , S_{\max} по формуле:

$$\omega = \frac{\pi \cdot (n_0 - S \cdot n_0)}{30} \quad (5.13)$$

где n_0 – частота вращения магнитного поля, об/мин;

$$\omega_K = \frac{3,14 \cdot (3000 - 0,15 \cdot 3000)}{30} = 267,04 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{\max} = \frac{3,14 \cdot (3000 - 0,09 \cdot 3000)}{30} = 285,9 \text{ рад/с};$$

$$\omega_{\min} = \frac{3,14 \cdot (3000 - 0,012 \cdot 3000)}{30} = 310,4 \text{ рад/с}.$$

12. Определим минимальный момент соответственно при скольжении S_{\min} , по формуле Клосса:

$$M_H = \frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (5.14)$$

$$M_H = \frac{2 \cdot 72,2}{\frac{0,012}{0,15} + \frac{0,15}{0,012}} = 11,478 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

По полученным данным построим естественную механическую характеристику двигателя, смотри рисунок 5.2.

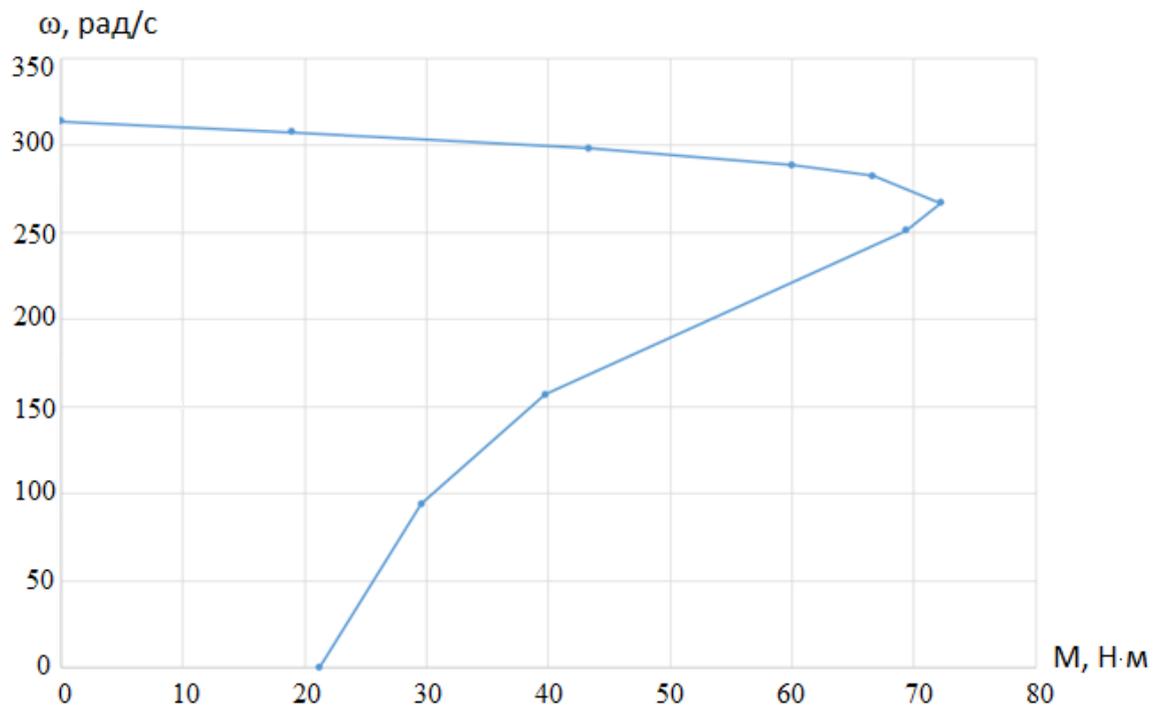


Рисунок 5.2

Построим совмещенную механическую характеристику для двигателя и центробежного насоса. Это необходимо для определения рабочей точки электропривода. Совмещенная характеристика изображена на рисунке 5.3.

Точка А является рабочей точкой системы электропривода насоса.

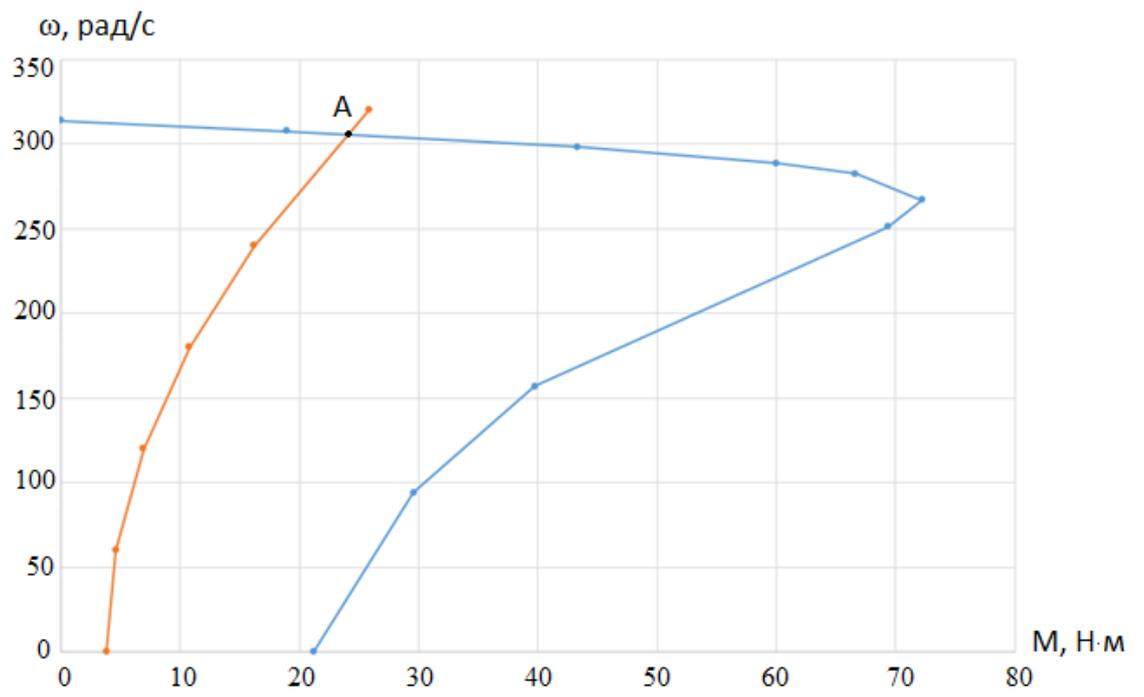


Рисунок 5.3

6 ВЫБОР ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Для регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, с частотным управлением в

качестве источников питания применяются полупроводниковые преобразователи частоты, работающие в режиме источника напряжения (ПЧН) и источника тока (ПЧТ).

Целесообразный способ управления двигателем зависит от технических требований к системе электропривода.

В электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости, не более 100:1, и высокими требованиями к динамическим характеристикам (частые пуски, торможение, реверс) применяется регулирование мгновенных значений трехфазной системы питающих напряжений и токов с использованием векторного принципа регулирования.

В системах с ограниченным диапазоном регулирования скорости до которых предъявляются высокие требования к динамическим режимам, применяется частотно – токовый способ, при котором принудительно регулируется частота и действующее значение входного тока в зависимости от абсолютного скольжения двигателя при заданной скорости и действующей нагрузке.

В электроприводах с ограниченным диапазоном регулирования скорости до 100:1, и отсутствием динамических режимов работы применяется частотно – параметрический способ, при котором принудительно регулируется частота и действующее значение входного напряжения в соответствии с заданной скоростью.

Так как к электроприводу моего проекта предъявляются требования:

ограниченный диапазон регулирования 1:2, отсутствие динамических режимов работы, продолжительный режим работы с относительно медленным изменением скорости, то наиболее целесообразным способом управления двигателем является частотно-параметрический способ.

Проведя анализ существующих систем управления электроприводами выбираем систему на базе низковольтных асинхронных короткозамкнутых двигателей с преобразователем частоты с промежуточным звеном постоянного тока (регулирование ШИМ).

Производим расчет параметров преобразователя частоты, выполненного с использованием гибридных модулей, состоящих из ключей IGBT и обратных диодов FWD, смонтированных в одном корпусе.

6.1 Расчет инвертора

Максимальный ток через ключи инвертора определяется по формуле

$$I_{C.\max} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot K_1 \cdot \sqrt{2} \cdot K_2}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{ном}}}, \text{ А} \quad (6.1)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность двигателя, Вт;

$\eta_{\text{ном}}$ – КПД двигателя;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности двигателя;

$U_{\text{л}}$ – номинальное напряжение двигателя, В;

$K_1=1,2 \div 1,5$ – коэффициент допустимой кратковременной перегрузки по току, необходимый для обеспечения динамики электропривода;

$K_2=1,1 \div 1,2$ – коэффициент допустимой мгновенной пульсации тока.

$$I_{C.\max} = \frac{11000 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,15}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,88} = 51,48 \text{ А}$$

6.2 Расчет выпрямителя

Обратное U прикладываемое к ключам инвертора

$$U_{u.\max} = U_d, \text{ В.} \quad (6.2)$$

где U_d – среднее значение выпрямленного напряжения, В;

Среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = K_{cx} \cdot U_L, \text{ В.} \quad (6.3)$$

где U_L – линейное напряжение питания ПЧ, В;

K_{cx} – коэффициент схемы для номинальной нагрузки; для трехфазной мостовой схемы $K_{cx} = 1,35$, для мостовой однофазной схемы $K_{cx} = 0,9$.

$$U_d = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ В.}$$

Максимальное значение среднего выпрямленного тока

$$I_{d.\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{I_{C.\max}}{\sqrt{2}}\right) \cdot U_L \cdot \cos \varphi + n \cdot P_T}{U_d}, \text{ А} \quad (6.4)$$

Где n – количество пар IGBT/FWD в инверторе;

P_T – потери в ключах инвертора, Вт,

$$P_T \approx U_{oc.\max} \cdot I_{C.\max}, \text{ Вт.} \quad (6.5)$$

где $U_{oc.\max}$ – напряжение в открытом состоянии у IGBT (1÷1,5÷2) В.

$$P_T \approx 1,5 \cdot 51,48 = 77,22 \text{ Вт.}$$

$$I_{d.\max} = \frac{\sqrt{3} \cdot \left(\frac{51,48}{\sqrt{2}}\right) \cdot 380 \cdot 0,9 + 6 \cdot 77,22}{513} = 42,94 \text{ А}$$

Максимальный рабочий ток диода

$$I_{U.\max} = K_{CC} \cdot I_{d.\max}, \text{ А.} \quad (6.6)$$

где $I_{d.\max}$ – ток протекающий через диод, А;

K_{CC} – для трехфазной мостовой схемы при оптимальных параметрах Г-образного LC-фильтра, установленного на выходе выпрямителя $K_{CC} = 1,045$.

$$I_{U.\max} = 1,045 \cdot 42,94 = 44,87 \text{ А.}$$

Максимальное обратное напряжение диода (для мостовых схем)

$$U_{U.\max} = K_{CH} \cdot \sqrt{2} \cdot U_L \cdot K_{CX} \cdot K_C + \Delta U_n, \text{ В.} \quad (6.7)$$

где $K_C \geq 1,1$ – коэффициент допустимого повышения напряжения сети;

$K_{CH} \geq 1,6$ – коэффициент запаса по напряжению;

$\Delta U_n \approx 100 \div 150$ – запас на коммутационные выбросы напряжения в звене постоянного тока.

$$U_{U_{\max}} = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 \cdot 1,35 \cdot 1,1 + 150 = 1427 \text{ В.}$$

На основании значений $I_{U_{\max}}$ и U_d выбирается тип диодов:

диод низкочастотный, тип Д141 - 100.

6.3 Расчет фильтра

Коэффициент пульсации на входе фильтра (отношение амплитуды напряжения к среднему значению):

$$q_{1.вх} = \frac{2}{m^2 - 1} \quad (6.8)$$

где m – пульсность схемы выпрямления ($m=6$ для трехфазной мостовой схемы, $m=2$ для однофазной мостовой схемы)

$$q_{1.вх} = \frac{2}{6^2 - 1} = 0,057$$

Параметр сглаживания LC-фильтра

$$L_0 \cdot C_{01} = \frac{S + 1}{(2 \cdot \pi \cdot m \cdot f_c)^2}, \text{ Гн} \cdot \text{ф} \quad (6.9)$$

где $S = q_{1.вх} / q_{1.вых} \approx 3 \div 12$ – коэффициент сглаживания по первой гармонике;

f_c – частота сети, Гц.

$$L_0 \cdot C_{01} = \frac{11 + 1}{(2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 50)^2} = 0,0000034 = 0,34 \cdot 10^{-5} \text{ Гн} \cdot \text{ф}$$

Индуктивность дросселя LC-фильтра для обеспечения коэффициента мощности на входе выпрямителя $K_M = 0,95$, определяется из следующих условий:

$$L_0 \geq 3 \cdot L_{0\min}; \text{ Гн.} \quad (6.10)$$

Значение минимальной индуктивности $L_{0\min}$ фильтра определяется по формуле

$$L_{0\min} = \frac{0,013 \cdot U_{\text{Л}}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot I_{d.\max}}, \text{ Гн} \quad (6.11)$$

$$L_{0\min} = \frac{0,013 \cdot 380}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 42,94} = 0,37 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

$$L_0 = 3 \cdot 0,37 \cdot 10^{-3} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$C_{01} = \frac{L_0 \cdot C_{01}}{L_0} = \frac{0,34 \cdot 10^{-5}}{1,1 \cdot 10^{-3}} = 3,08 \cdot 10^{-3}$$

Емкость конденсаторов, необходимая для протекания реактивного тока нагрузки инвертора, находится из выражения:

$$C_{03} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{C.\max} \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi_1}{2} - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot U_d \cdot f_{\text{SW}} \cdot q_{1.\text{ex}}} \quad (6.12)$$

где $I_{C.\max}$ – амплитудное значение тока в фазе двигателя, А;

φ_1 – угол сдвига между первой гармоникой фазного напряжения и фазного тока;

f_{SW} – частота ШИМ, Гц.

$$C_{03} = \frac{\sqrt{3} \cdot 51,48 \cdot \sin^2\left(\pi - \frac{\pi}{12}\right)}{2 \cdot 513 \cdot 10000 \cdot 0,057} = 10,2 \text{ мкф}$$

Для практической реализации фильтра используют конденсаторы с наибольшим значением емкости, в нашем случае $C_{01} = 3080$ мкф

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

$$I_{co.\max} = q_{1.\text{вх}} \cdot U_d \cdot 2 \cdot \pi \cdot m \cdot f_c \cdot C_{01}, \text{ А} \quad (6.13)$$

$$I_{co.\max} = 0,057 \cdot 513 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 6 \cdot 50 \cdot 3080 = 169,5 \text{ А.}$$

На основании проведенного расчета основных элементов преобразователя частоты, а также анализа технической документации в данном электроприводе может быть применен преобразователь частоты

фирмы Shneider Electric, серии ATV212HD11N4 разработанного для управления трехфазными общепромышленными асинхронными двигателями мощностью от 0,75 до 75 кВт.

Краткое описание:

Преобразователь частоты ATV 212 18,5 кВт 380 В 3ф

Входов:

8

Число фаз сети:

3 фазы

Мощность двигателя, кВт:

11 кВт

Мощность двигателя, л.с.:

15 л.с

Линейный ток:

21,1 А в 380

Степень загрязнения:

2 в соответствии с EN/IEC 61800-5-1

Относительная влажность:

5...95 % без образования конденсата в соответствии с IEC 60068-2-3

Уровень шума:

51 дБ в соответствии с 86/188/ЕЕС

Рабочая высота:

≤ 1000 м без ухудшения номинальных значений

1000...3000 м ограничена до 2000 м для распределительной сети "Corner

Grounded" с уменьшением номинального тока на 1 % при увеличении высоты на 100 м

Электромагнитная совместимость:

Испытание стойкости к электролитическому разряду уровень 3 в соответствии с IEC 61000-4-2

Испытание на стойкость к радиочастотным помехам уровень 3 в соответствии с IEC 61000-4-3

Испытание на невосприимчивость к коммутационным помехам/коротким пакетам уровень 4 в соответствии с IEC 61000-4-4

Невосприимчивость к импульсным помехам 1,2/50 мкс - 8/20 мкс уровень 3 в соответствии с IEC 61000-4-5

Проверка стойкости к наведенным РЧ помехам уровень 3 в соответствии с IEC 61000-4-6

Испытание на стойкость к провалам и кратковременным исчезновениям напряжения в соответствии с IEC 61000-4-11

Виброустойчивость:

1,5 мм размах (частота= 2...13 Гц) в соответствии с IEC 60068-2-6

1 gn (частота= 13...200 Гц) в соответствии с IEC 60068-2-6

Ударопрочность:

15 gn для 11 мс в соответствии с IEC 60068-2-27

Характеристики окружающей среды:

Классы 3С1 в соответствии с IEC 60721-3-3

Классы 3S2 в соответствии с IEC 60721-3-3

Рабочая температура окружающей среды:

-10...40 °С (без ухудшения номинальных значений)

40...50 °С (с понижающим коэффициентом)

Степень защиты IP:

IP55 на верхней части в соответствии с EN/IEC 61800-5-1

IP55 на верхней части в соответствии с EN/IEC 60529

Температура окружающей среды при хранении:

-25...70 °С

7 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ

Для решения задач синтеза замкнутых систем электропривода, обладающих быстродействием и желаемым характером переходных процессов, разработан инженерный метод синтеза, метод подчиненного регулирования. В основе этого метода лежит разработка многоконтурных систем, когда в результате синтеза каждый из контуров описывается передаточной функцией и обеспечивает оптимальное управление своей выходной регулируемой координатой.

При синтезе контуров регулирования используется два типа оптимальных настроек: настройки на модульный оптимум (МО) и настройки на симметричный оптимум (СО).

Функциональная схема электропривода насоса с учетом использования регулирования уровня представлена на рисунке 7.1.

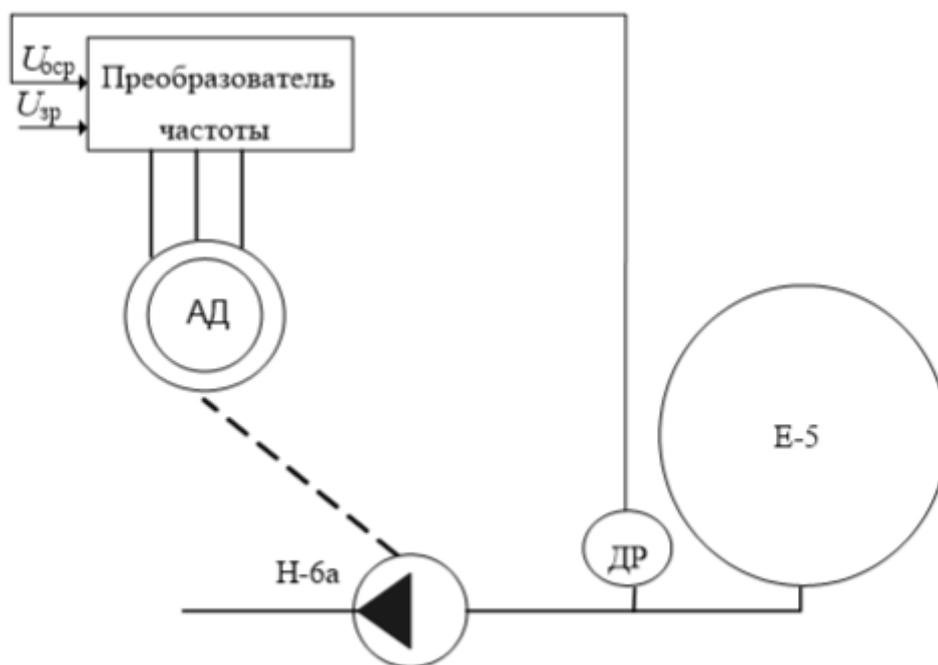


Рисунок 7.1-Функциональная схема электропривода

Электропривод состоит из преобразователя частоты и асинхронного короткозамкнутого двигателя АД. Отличительной особенностью данной схемы является то, что она не замкнута по скорости, а имеет отрицательную обратную связь по расходу, организованную с помощью датчика расхода ДР.

Основное задание на скорость двигателя насоса подается в зависимости от расхода жидкости в шаровой резервуар, а корректировка скорости осуществляется с помощью отрицательной обратной связи по расходу.

Структурная схема рассматриваемой замкнутой системы регулирования расхода при сделанных допущениях представлена на рисунке 7.2.

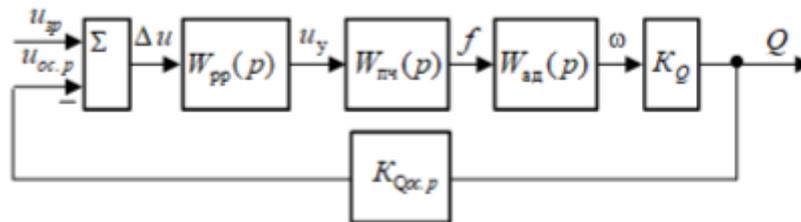


Рисунок 7.2-Структурная схема электропривода

Здесь $W_{рр}(p)$ - передаточная функция регулятора расхода, определяемая в результате синтеза;

$W_{пч}(p)$ - передаточная функция преобразователя частоты;

$W_{ад}(p)$ - передаточная функция асинхронного двигателя.

В расчетах передаточную функцию преобразователя частоты с достаточной для практических расчетов точностью можно представить усилительным звеном:

$$W_{пч}(p) = K_{пч}.$$

Коэффициент усиления преобразователя частоты определяется по формуле:

$$K_{пч} = \frac{U_l}{U_{у.ном}}, \quad (7.1)$$

где U_l - номинальное значение линейного напряжения на выходе преобразователя частоты, В;

$U_{у.ном}$ - напряжение управления преобразователем частоты, В.

$$K_{пч} = \frac{380}{10} = 38$$

$$T_{\text{пч}} = \frac{1}{f_{\text{шим}}} = \frac{1}{10000} = 0,0001\text{с} - \text{постоянная времени преобразователя частоты}$$

Передаточная функция преобразователя частоты $W_{\text{пч}}(p)$:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{38}{0,0001p + 1}$$

Передаточная функция $W_{\text{ад}}(p)$ может быть получена, если структурную схему асинхронного двигателя представить в виде динамических звеньев, показанных на рисунке 7.3:

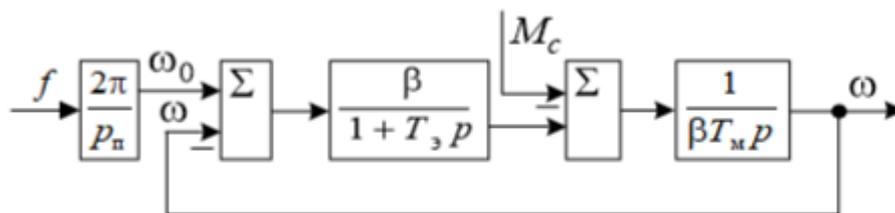


Рисунок 7.3-Структурная схема асинхронного двигателя

Здесь f – частота питающего напряжения, Гц;

p_n – число пар полюсов;

ω_0 – угловая скорость вращения магнитного поля статора, с-1;

ω – угловая скорость вращения ротора двигателя, с-1;

β – модуль жесткости линеаризованной механической характеристики

асинхронного двигателя;

T_s – электромагнитная постоянная времени асинхронного двигателя;

T_m – механическая постоянная времени.

Определим критическое скольжение с помощью формулы Клосса:

$$T_m = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + S_k)}{S_k + 3 \cdot S_k} \quad (7.2)$$

Номинальный момент двигателя $M_{\text{ном}}$, Н·м определим по формуле:

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}}, \quad (7.3)$$

$$\omega_{ном} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2910}{30} = 304,74 \text{ рад/с} \quad (7.4)$$

$$M_{ном} = \frac{11000}{304,74} = 36,1 \text{ Н·м.}$$

Находим значения пускового и критического моментов, Н·м.

$$M_{п} = \lambda_{п} \cdot M_{н}; \quad (7.5)$$

$$M_{к} = \lambda_{к} \cdot M_{н}, \quad (7.6)$$

где $\lambda_{п}$ - кратность пускового момента;

$\lambda_{к}$ - кратность максимального момента.

$$M_{п} = 1,6 \cdot 36,1 = 57,8 \text{ Н·м;}$$

$$M_{к} = 2 \cdot 36,1 = 72,2 \text{ Н·м.}$$

$$S_{к} = 0,15$$

Модуль жесткости определим по формуле:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{к}}{\omega_{0.ном} \cdot S_{к}}, \quad (7.7)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 72,2}{304,74 \cdot 0,15} = 3,56$$

Электромагнитная и механическая постоянные времени:

$$T_{э} = \frac{1}{\omega_{0.эл.ном} \cdot S_{к}}, \quad (7.8)$$

$$T_{э} = \frac{1}{304,74 \cdot 0,15} = 0,025.$$

$$T_{м} = \frac{J_{\Sigma}}{\beta}, \quad (7.9)$$

где J_{Σ} - суммарный момент инерции, включающий в себя момент инерции двигателя и насоса.

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_{н}. \quad (7.10)$$

$$J_{\Sigma} = 0,0227 + 1,72 = 1,743$$

$$T_{м} = \frac{1,743}{3,562} = 0,496 \text{ с}$$

Полная передаточная функция асинхронного двигателя в соответствии со структурной схемой определяется по формуле:

$$W_{ад}(p) = \frac{2 \cdot \pi}{p_{п}} \cdot \frac{\frac{\beta}{1+T_{\sigma} \cdot p} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_{\sigma} \cdot p}}{1 + \frac{\beta}{1+T_{\sigma} \cdot p} \cdot \frac{1}{\beta \cdot T_{\sigma} \cdot p}} = \frac{2 \cdot 3,14}{p_{п}} \cdot \frac{1}{T_{\sigma} \cdot T_{м} \cdot p^2 + T_{м} \cdot p + 1}$$

$$W_{ад}(p) = \frac{2 \cdot 3,14}{1} \cdot \frac{1}{0,012 \cdot p^2 + 0,496 \cdot p + 1} \quad (7.11)$$

Вследствие малой величины пренебрегаем слагаемым, тогда при синтезе замкнутой системы электропривода насоса передаточная функция асинхронного двигателя может быть представлена в виде

$$W_{ад}(p) = \frac{2 \cdot \pi}{p_{п}} \cdot \frac{1}{1 + T_{м} \cdot p} \quad (7.12)$$

$$W_{ад}(p) = \frac{2 \cdot 3,14}{1} \cdot \frac{1}{1 + 0,496 \cdot p}$$

Коэффициент K_Q , учитывающий связь между производительностью насоса Q и его частотой вращения ω , определяется следующим образом:

$$K_Q = \frac{Q_{ном}}{\omega_{ном}} \quad (7.13)$$

$$K_Q = \frac{100}{304,74} = 0,912 \text{ м}^2$$

Определяем коэффициент обратной связи по расходу K_p , В/м²:

$$K_{Q.ос.p} = \frac{U_{зр\max}}{Q_{\max}} \quad (7.15)$$

Площадь S емкости Е1 определяется как

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 6,5^2}{4} = 33,18 \text{ м}^2$$

где $U_{зр\max}$ - максимальное напряжение задания расхода, примем 8 В

Q_{\max} - максимальный расход, равный $100 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$K_h = \frac{U_{zh\max}}{h_{\max}} = \frac{8}{6} = 1,33 \text{ В/м} \quad (7.16)$$

Известно, что для решения задач синтеза замкнутых систем электропривода, обладающих хорошим быстродействием и желаемым характером переходных процессов, разработан инженерный метод синтеза, получивший название метода последовательной коррекции при подчиненном регулировании координат.

Методика синтеза на базе последовательной коррекции может быть эффективно использована при синтезе контура регулирования расхода. При этом могут использоваться два типа настроек - настройка на модульный оптимум (МО) и настройка на симметричный оптимум (СО), которые обеспечивают принципиально разные показатели качества регулирования.

Целесообразно реализовать настройку на симметричный оптимум, тогда разомкнутый контур регулирования расхода должен иметь передаточную функцию вида:

$$W(p)_{co}^p = \frac{1}{a_{\mu} \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)}, \quad (7.17)$$

где T_{μ} - некомпенсируемая постоянная, принимаемая равной постоянной времени преобразователя частоты, т.е. $T_{\mu} = T_m$.

$a_{\mu} = 2$ - стандартный коэффициент настройки

Определяем передаточную функцию регулятора расхода, приравнивая передаточную функцию разомкнутого контура расхода и желаемую передаточную функцию, т.е. $W(p)^p = W(p)_{co}^p$ или в развернутой форме:

$$W_{py}(p) = K_{пч} \cdot \frac{2 \cdot \pi}{p_{п}} \cdot \frac{1}{T_{\mu} \cdot p + 1} \cdot K_{\varrho} \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{S} \cdot K_h = \frac{4 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p^2 \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)}, \quad (7.18)$$

получаем:

$$W_{py}(p) = 38 \cdot \frac{2 \cdot 3,14}{1} \cdot \frac{1}{0,496 \cdot p + 1} \cdot 0,912 \cdot \frac{1}{p} \cdot \frac{1}{33,18} \cdot 1,33 =$$

$$= \frac{4 \cdot 0,496 \cdot p + 1}{8 \cdot 0,496^2 \cdot p^2 \cdot (0,496 \cdot p + 1)},$$

Из этого уравнения следует, что регулятор расхода представляет собой пропорционально-интегральное звено

$$W_{py}(p) = K_{\Pi} + \frac{1}{T_{\text{и}} \cdot p} = 0,115 + \frac{1}{17,19 \cdot p}, \quad (7.19)$$

где K_{Π} - коэффициент усиления регулятора расхода;

$$K_{\Pi} = \frac{p_n \cdot S}{2 \cdot T_m \cdot K_{\text{пч}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot K_Q \cdot K_h} = \frac{2 \cdot 33,18}{2 \cdot 0,496 \cdot 38 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,912 \cdot 1,33} = 0,115,$$

$T_{\text{и}}$ - постоянная времени интегрирования регулятора расхода;

$$T_{\text{и}} = \frac{8 \cdot T_m^2 \cdot K_{\text{пч}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot K_Q \cdot K_h}{p_n \cdot S} = \frac{8 \cdot 0,496^2 \cdot 38 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 0,912 \cdot 1,33}{1 \cdot 33,18} = 17,19 \text{ с.}$$

Полученный в результате синтеза ПИ-регулятор обеспечивает следующие показатели качества регулирования:

- время переходного процесса $t_{\text{шт}} = 16,5 \cdot T_{\mu} = 16,5 \cdot 0,496 = 8,19 \text{ с}$
- время нарастания $t_{\text{н}} = 3,1 \cdot T_{\mu} = 3,1 \cdot 0,496 = 1,536 \text{ с};$
- время первого максимума $t_{\text{макс}} = 5,8 \cdot T_{\mu} = 5,8 \cdot 0,496 = 2,88 \text{ с};$
- перерегулирование $\sigma = 43 \text{ %};$
- число колебаний $n_{\text{к}} = 2$

8 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА И ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ И КОММУТАЦИИ

Правильный и рациональный выбор аппаратов коммутации и защиты для цепей управления приемников электрической энергии являются основополагающим при разработке схем управления и защиты.

Автоматические выключатели обеспечивают одновременно коммутации силовых цепей и защиты электроприемника, а также сетей, от перегрузки и коротких замыканий. Аппараты имеют тепловые расцепители, и, как правило, снабжаются дугогасящими устройствами в виде фибровых пластин, либо дугогасящих камер.

Автоматический выключатель выбирается по роду тока коммутируемых цепей, постоянный или переменный ток, по числу коммутируемых цепей – одна, две или три, по типу используемого чувствительного размыкающего элемента – электромагнитный максимально-токовый расцепитель, тепловой расцепитель, либо и тот и другой одновременно. Автоматы, как правило, снабжаются дугогасящими устройствами в виде фибровых пластин, либо дугогасящих камер. Прежде чем произвести выбор аппаратов по основным техническим параметрам, необходимо рассчитать номинальный и пусковой токи двигателя.

Пускатель магнитный относится к разряду наиболее востребованных электрических устройств. Электромагнитные пускатели образуются путем установки на контактор теплового реле перегрузки, автомата или дополнительной группы контактов. Пускатель магнитный выполняет, преимущественно, задачу электродистанционного включения/отключения, а также защиты по току 3-фазных двигателей асинхронного типа (с короткозамкнутым ротором). С помощью электромагнитных пускателей – помимо электродвигателей – включают и отключают удаленно иные силовые

нагрузки, в том числе обогревательные устройства и сверхмощные светильники.

Особенности представленных на рынке моделей пускателей магнитных требуют подходить к выбору необходимого нам электромагнитного пускателя, исходя из следующих критериев поиска:

- количество срабатываний (или класс износостойкости) пускателя магнитного следует учитывать, как достаточно существенный параметр, если электроаппарат вы приобретаете для эксплуатации в режиме многократных коммутаций нагрузки на единицу времени. Если нагрузка включается/выключается слишком часто, хорошо подумайте, прежде чем приобретать что-либо, кроме бесконтактного электромагнитного пускателя;

- лампочка, кнопки на корпусе (вспомогательные управляющие элементы) облегчают контроль над работой пускателя магнитного;

- возможность управления реверсивным электродвигателем через реверс электромагнитного пускателя – он включает блокировочный механизм, шесть контактов силовых и две магнитных катушки; пускатель магнитный с тепловым реле окажется просто незаменимым прибором для тех случаев, когда включаемые/отключаемые электродвигатели технологически не избавлены от работы в режиме перегрузок;

- степень защиты, отражаемая в показателе IP, свидетельствует о том, насколько электромагнитные пускатели защищены от агрессии внешней среды и соответствуют определенным условиям работы (к примеру, пускатели магнитные с обозначениями IP20 и IP44 могут эксплуатироваться в помещениях с различной степенью запыленности),

- число вспомогательных контактов электромагнитного пускателя при покупке аппарата необходимо сверять с тем количеством контактов, которые отмечены на электросхеме управления. Следует очень ответственно относиться к процедуре отдельного подсчета размыкающих и замыкающих контактов. На случай, если у приобретенного пускателя магнитного замечена нехватка контактов (по сравнению с необходимым по схеме управления их

количеством), стоит попробовать использовать вспомогательную приставку с добавочными контактами.

Во всяком случае, с электромагнитным пускателем серии ПМЛ можно использовать для увеличения количества рабочих контактов приставку серии ПКЛ. Пускатель магнитный ПМЛ-серии, снабженный приставкой ПВЛ, вполне зарекомендовал себя для несложных схем как импровизированное реле времени (для тех случаев, когда установка более дорогого обыкновенного реле времени кажется нецелесообразным);

- рабочее напряжение катушки – приобретая электромагнитный пускатель, стоит сверить указанные для схемы управления напряжения с обозначенными на аппарате. К стандартным обозначениям можно отнести

разницу потенциалов DC 24 В, ~380 В, ~220 В, ~110 В, ~24 В. - под величиной пускателя магнитного, обозначаемой в цифрах, подразумевается нагрузка по току, которую может включать/выключать основными контактами электромагнитный пускатель. Если ток основных контактов пускателя магнитного достигает 10...16А, подобные электроаппараты относят к величине 1. У электромагнитных пускателей величин 2, 3 и 4 ток основных контактов соответствует 25, 40 и 63 ампер. При нагрузках, превышающих соответствие 4-й величине (63А), в управляющих цепях применяют контакторы электромагнитного типа. При подборе модели пускателя магнитного обязательно следят за тем, чтобы ток нагрузки был меньше тока главных контактов электромагнитного пускателя.

- серия пускателя магнитного может свидетельствовать о его принадлежности к наиболее популярнейшим магнитным пускателям, качественным но дорогостоящим либо многочисленным мировым брендам.

Выбор пускателя осуществляется по номинальному напряжению сети, по номинальному напряжению катушки пускателя, по номинальному току электроприемника.

Наибольшее применение находят магнитные пускатели типов ПМЕ, ПМА, ПА, (ПАЕ).

$I_{ном} = 100$ – номинальный ток, А;

$U = 380$ – напряжение сети, В;

$m = 3$ – число полюсов.

На основе исходных данных выбираем магнитный пускатель:

ПМЛ-5160ДМ-100А-380АС-УХЛ4-Б-КЭАЗ

Номинальный рабочий ток – 100 А

Диапазон тока расцепления – 80 ... 93 А

Тип напряжения управления – АС (перемен.)

Номинальное напряжение питания цепи управления U_s АС 50 Гц-380 В

Степень защиты (IP): IP20

Произведем расчет и выбор основных параметров коммутационных аппаратов управления и защиты.

$$I_{ном.дв.} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos \varphi}, \quad (8.1)$$

Где $P_{ном}$ – номинальная мощность двигателя, Вт;

$U_{ном}$ – номинальное напряжение, В;

$\eta_{ном}$ – КПД двигателя, %;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности двигателя, %.

$$I_{ном.дв.} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,88 \cdot 0,9} = 21,1 \text{ А}$$

Номинальная уставка на ток срабатывания теплового расцепителя выключателя $I_{ном.Т}$ равна среднему значению между током несрабатывания расцепителя $1,1 \cdot I_{ном.Р}$ и нормированным значениям тока срабатывания $1,45 \cdot I_{ном.Р}$:

$$I_{ном.Т} = (1,1 \cdot I_{ном.Р} + 1,45 \cdot I_{ном.Р}) / 2 \quad (8.2)$$

Время срабатывания теплового расцепителя автоматического выключателя находится из его защитной характеристики по току перегрузки, длительно протекающему в цепи.

$$I_{ном.Т} = (1,1 \cdot 21,1 + 1,45 \cdot 21,1) / 2 = 26,91 \text{ А}$$

Выбираем автоматический воздушный выключатель серии **ВА 47-63**, тип **ВА 47-63 3P 25A C**:

Номинальное напряжение $U_{ном} = 400 \text{ В}$;

Номинальный ток $I_{ном} = 25 \text{ А}$;

Предохранитель для цепи управления выбираю по максимальному току I_{FU} , А, потребляемому цепями управления, по формуле:

$$I_{FU} = 1,2 \div 1,3 I_{у\max}, \text{ А}, \quad (8.3)$$

$$I_{FU} = 1,2 \cdot 4 = 4,8 \text{ А}.$$

Выбираем предохранитель серии ВПЗБ-1В, с параметрами:

$I_{ном} = 10$ – номинальный ток, А;

$I_{ном.п.в} = 5$ – номинальный ток плавкой вставки, А

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее экономичным и перспективным способом регулирования производительности насосов является изменение скорости вращения вала асинхронной машины с помощью полупроводникового преобразователя частоты, применение которого позволяет обеспечить плавное регулирование частоты в широком диапазоне при высоких показателях качества.

Учитывая современный уровень развития силовой полупроводниковой техники, наиболее перспективным является преобразователь частоты с промежуточным звеном постоянного тока на IGBT модулях.

На основании режима работы насоса произведен расчет и выбор асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, преобразователя частоты, а также аппаратов защиты и управления.

Составлена функциональная, структурная схема замкнутой системы электропривода, определены передаточные функции звеньев, произведен расчет коэффициентов передачи и постоянных времени.

На основании проведенного синтеза определен тип регулятора уровня, рассчитаны его параметры.

Разработана принципиальная схема и выбрано коммутационное оборудование силовой части электропривода.

Спроектированный электропривод насоса регулирования уровня позволяет повысить уровень автоматизации производства и достигнуть значительной экономии электроэнергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник.- Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, -Т.1. – 2002.
2. Справочник по электрическим машинам: В 2-х томах Т-2. Под общей ред. Копылова И.П., Клокова Б.К. – Энергоатомиздат,1989. – 688 с. 3.
4. Электротехнический справочник: В.4 т. Т.4. Использование электроэнергии/Под общ. ред. профессоров МЭИ Герасимова В.Г. и др.(гл. ред. Попов А.И.).- 8-е изд.,испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ,2002.-696 с.
5. Григорьев В.В., Киреева Э.А. Справочные материалы по электрооборудованию систем электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 142 с.
6. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-ое изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
7. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов/Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н.. – М: Издательский центр «Академия», 2004. - 576 с.
8. Электрические и электронные аппараты: Учеб. для вузов / Под ред. Розанова Ю.К. – 2-ое изд., испр. и доп. – М.: Информэлектро, 2001. – 420 с.