

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 99 страниц, 30 рисунков, 19 таблиц, 10 источников.

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ВЕНТИЛЯТОРА, АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом выпускной квалификационной работы является электропривод вентилятора. Цель работы – разработка и исследование асинхронного частотно-регулируемого электропривода вентилятора.

В выпускной квалификационной работе был произведён расчет и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи. Обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы.

В разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода вентилятора ВР-80-70-10

В разделе безопасность и жизнедеятельность труда рассмотрены вопросы охраны труда и техники безопасности. Проанализированы опасные и вредные факторы производства.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2010, в работе использованы программы MathCAD, MicrosoftVisio 2010, MicrosoftPowerPoint, Simulink (MatLab).

ВВЕДЕНИЕ

Системы вентиляции используются для поддержания чистоты воздуха в производственных помещениях и местах проживания людей, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим требованиям. Основным свойством вентиляции является устранение вредных выделений в помещениях, к которым относят: избыточное тепло и влагу, различные газы и пары вредных веществ, а также пыль и смог.

Вентиляторы радиальные ВР 80-70 – воздуходувные машины, создающие определенное давление и предназначенные для перемещения воздуха по воздуховодам систем кондиционирования и вентиляции, а также для осуществления прямой подачи либо отсасывания воздуха из помещения. Радиальные вентиляторы марки ВР 80-70 различного диапазона давления имеет очень широкое применение в промышленности и в быту. Радиальный вентилятор является основой систем кондиционирования, вентиляционных и отопительных конструкций в производственных и офисных помещениях. Основное назначение вентилятора ВР 80-70 это перемещение газопаровоздушных смесей с различными примесями плотностью до 0,1 г/м³. Вентилятор не должен применяться в помещениях с содержанием в воздухе волокнистых и липких частиц.

Системы вентиляции производственных, общественных и жилых зданий;

Системы кондиционирования воздуха;

Технологические установки различного назначения: перемещение воздуха и других газопаровоздушных смесей, с содержанием пыли и других твердых примесей не более 0,1 г/м³, не содержащих липких и волокнистых материалов.

Направление меридиональной скорости потока газа на входе в рабочее колесо параллельно, а на выходе из рабочего колеса перпендикулярно оси его вращения.

Основными частями вентилятора ВР 80-70 являются: кожух в котором расположено рабочее колесо. Поток воздуха или газа, поступающий во вращающееся рабочее колесо, попадает в канал между его лопатками, и изменяет направление движения с осевого на радиальное. Поток воздуха двигается к периферии колеса в радиальном направлении, сжимается и под действием центробежной силы отбрасывается в спиральный кожух и далее направляется на выход.

Лопатки рабочего колеса вентилятора могут быть выгнутыми вперед или назад (в сторону, противоположную вращению). Кроме того, учитывая различные области применения и требования к мощности вентиляторов, наряду с выпуском стандартных изделий с односторонним всасыванием производят вентиляторы и двухстороннего всасывания. Современные радиальные вентиляторы практически всех типов могут использоваться в температурном диапазоне от минус 40°С до плюс 40 °С.

Вентилятор ВР 80-70 состоит из следующих элементов: спиральный корпус (улитка), рабочее колесо, коллектор (диффузор), станина (рама), привод (электродвигатель). Вентилятор ВР 80-70 может быть изготовлен в различных исполнениях, позволяющих применять его как во взрывоопасных средах, так и в сложных агрессивных и

1. Технологический процесс перекачки нефти

Нефтеперекачивающая станция (НПС) выполняет основную функцию по повышению давления в МН (магистральном нефтепроводе) при перекачке нефти.

Основной схемой технологического процесса перекачки нефти для промежуточной НПС является перекачка «из насоса в насос».

Нефть по нефтепроводу перекачивается с головной перекачивающей станции через промежуточные насосные станции. Нефть поступает на НПС через приемную задвижку расположенную в узле подключения станции (или узле пуска-приема очистных устройств). Узел пуска и приема очистных устройств позволяет вести перекачку нефти как через НПС так и минуя ее.

Последовательная перекачка позволяет максимально загрузить магистральный трубопровод, уменьшает нагрузку на другие виды транспорта. Кроме того, транспорт разносортных нефтей к нефтеперерабатывающим заводам этим методом позволяет избежать смешения нефтей в резервуарах на головной станции трубопровода и упростить технологию их переработки.

Современная технология метода последовательной перекачки, основанная на ее цикличности, позволяет одновременно перекачивать несколько десятков партий разносортных нефтепродуктов. При циклической перекачке в партии группируются нефтепродукты, близкие по своим свойствам. Например, в одну группу могут быть объединены карбюраторные, в другую — дизельные топлива. Две партии нефтепродуктов, принадлежащих к различным группам, составляют цикл. Перед началом перекачки для каждого цикла составляют технологическую карту расположения нефтепродуктов в партии, где указывают порядок следования нефтепродукта данного сорта и его объем. Формирование партий и цикла на головном пункте трубопровода осуществляется согласно этой технологической карте. При этом партии нефтепродуктов составляются таким образом, чтобы не было резкого изменения физико-химических свойств при переходе внутри цикла от одной партии нефтепродуктов к другой и чтобы наиболее ценные нефтепродукты (например, бензин с высоким октановым числом) сохраняли свои качества до конца процесса транспортировки.

При всех своих достоинствах метод последовательной перекачки имеет характерный недостаток, связанный с самим способом перекачки жидкостей.

Дело в том, что в процессе последовательной перекачки, когда один нефтепродукт следует непосредственно за другим, происходят перемешивание разнородных жидкостей в зоне контакта и образование области смеси, разделяющей однородные компоненты. Образующаяся при этом смесь имеет физико-химические свойства, отличные от свойств перекачиваемых нефтепродуктов, и не может быть реализована как полноценный

1.1. Насосный зал НПС

Насосный зал (насосная) — здание на НПС, в котором расположено основное и вспомогательное оборудование. К основному относят магистральные, подпорные насосы, электродвигатели, к вспомогательному системы смазки, охлаждения, подачи топлива, контроля и защит.

По исполнению насосные могут быть: на открытой площадке; в капитальном помещении; в блочном и блочно-модульном исполнении. Насосные в капитальном помещении, в блочном и блочно-модульном исполнении оборудуются также системами водоснабжения, теплоснабжения, вентиляции и канализации.



Рис 1.1. Насосный зал НПС

Помещение насосного зала относится к взрывоопасным помещениям класса В — 1а. В этих помещениях не должно быть взрывоопасных смесей горючих паров с воздухом при нормальной эксплуатации; их появление возможно только в результате аварий или неисправностей. Оборудование насосных делится на основное и вспомогательное. К основному оборудованию относятся магистральные насосы и электродвигатели к ним, к вспомогательному - системы, предназначенные для обслуживания основного оборудования: смазки подшипников насосов, обратного водоснабжения для охлаждения масла в маслоохладителях и воздушного пространства электродвигателей при замкнутом цикле вентиляции, отвода перекачиваемой жидкости от разгрузочных устройств насосов и отвода утечек от торцевых уплотнений, вентиляции. Все системы имеют закрытое исполнение, рабочие реагенты циркулируют по замкнутому контуру.

Насосы, как правило, имеют встроенную систему импеллерного охлаждения торцевых уплотнений.

В зависимости от исполнения электродвигателей установка насосов и электродвигателей может быть осуществлена в общем зале и разных залах насосной.

Если двигатели в насосной установлены в невзрывобезопасном исполнении, то между залами насосных агрегатов и электродвигателей имеется разделительная стенка. Для защиты электрозала от проникновения взрывоопасных смесей, горючих паров с воздухом предусматриваются:

- а) создание избыточного давления воздуха в электрозале подпорными вентиляторными;
- б) установка сальниковых узлов между насосным и электрозалом;
- в) установка безпромвальной камеры с подачей избыточного давления воздуха в места технологических разъемов разделительной стенки.



Рис. 1.2. Насосный зал с разделительной стеной

Работа магистрального насосного агрегата взаимосвязана с комплексом, состоящим из технологических трубопроводов с прямо-выкидными задвижками и обратным клапаном, электродвигателем, вспомогательными системами и агрегатной автоматикой.

Насосная с насосными агрегатами, как главная составляющая часть НПС, во многом определяет надежность и безопасность эксплуатации нефтепроводной системы. Магистральные и подпорные насосные агрегаты потребляют 92-97 % всей энергии подводимой к НПС, поэтому качество изготовления, оптимальный выбор рабочих колес и современные конструкции их узлов, рациональная технология ремонта, постоянный контроль и анализ рабочих параметров предопределяют высокие требования к технологии их эксплуатации.

Для перекачки нефти по нефтепроводам применяются магистральные (типа НМ) и подпорные (типа НПВ) насосы по ГОСТ 12124-87. На их долю падает около 90 % парка всех насосов.

Система приточно-вытяжной вентиляции насосной состоит из двух приточных вентиляторов с калориферами, двух-четырех вытяжных

вентиляторов и разводящих воздуховодов. В функции системы приточно-вытяжной вентиляции входит:

ограничение максимальной концентрации паров в воздухе насосного зала;

подача воздуха для отопления машинного зала и поддержания температуры в пределах требований, предъявляемых по техническим уровням установленного там оборудования и аппаратуры автоматики;

поддержание перепада давления между воздушной камерой уплотнения промежуточного вала и помещением насосного зала (для насосных с разделительной стенкой).

На нефтеперекачивающих станциях предусматривается также естественная вытяжная вентиляция. Схема приточной вентиляции применительно к насосной, где размещение магистрального насоса выполнено в одном зале со взрывозащищенным двигателем типа 4АЗМВ, представлена (рис. 1.1) из двух вентиляторов, один из вентиляторов является резервным.

Размещение вентиляторов, калориферов, огневого предохранителя и обратных клапанов выполнено в отдельном от насосного зала помещении. Воздухораспределительные насадки и регулируемые заслонки находятся в насосной. Насадки располагаются у стены напротив каждого насосного агрегата.

При применении электродвигателей невзрывозащищенного исполнения размещение насоса и привода производится в различных помещениях — насосном зале и электрозале. Разделительная стенка между залами является герметичной. Промежуточный вал, соединяющий валы насоса и электродвигателя и проходящий через разделительную стенку, имеет уплотнение.

Уплотнение находится под избыточным давлением, создаваемым приточными вентиляторами.

Электрозал в этом случае находится под избыточным давлением воздуха за счет работы специальных подпорных вентиляторов.

Схема вытяжной вентиляции насосной, где нефтяной насос располагается в одном помещении со взрывозащищенным электродвигателем, показана на рис. 1.2. Вентиляторы устанавливаются снаружи помещения. Вытягиваемый из насоса воздух по воздуховоду направляется вверх выше крыши здания насосной. Воздуховод заканчивается перекидным клапаном и факельной насадкой. Вентиляторы располагаются, как правило, попарно с каждого торца здания. Один из вентиляторов каждой пары — резервный.

Пристенные воздушные насадки, располагаемые внутри насосной, обеспечивают забор и отсос воздуха из помещения. Воздушные насадки вытяжной вентиляции устанавливаются также в приемке насосного зала, где расположены маслонасосы.

2.4. Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [4].

2.4.1. Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $\omega(M)$ асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{\text{и}}=f_{1\text{н}}=50$ Гц по выражению

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

Задаемся скольжением в пределах $s = 0.01, 0.02, \dots, 0.5$ и рассчитываем по

программе *Mathcad* естественную механическую характеристику $\omega(M)$ (рис. 3.2), где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

Также рассчитываем номинальное значение электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M'_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0.134}{104,7 \cdot 0.02 \cdot \left[(1,4)^2 + \left(0.148 + \frac{0.134}{0.02} \right)^2 + \left(\frac{0.148 \cdot 0.134}{0.02 \cdot 14,85} \right)^2 \right]} = 190,12 \text{ Нм};$$

критического скольжения

$$s_{\text{к}} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0,134 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,148}{14,85} \right)^2}{0,148^2 + 1,4^2}} = 0,095.$$

критическая скорость

$$\omega_{\text{к}} = (1 - s_{\text{к}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0,095) \cdot 104,7 = 94,75$$

и электромагнитного критического момента

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{к}}) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{\text{кн}}^2) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2}{104,7 \cdot 2 \cdot \left[0,148 + \sqrt{(0,148^2 + 1,4^2) \cdot \left(1 + \frac{0,148}{14,85} \right)^2} \right]} = 445,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

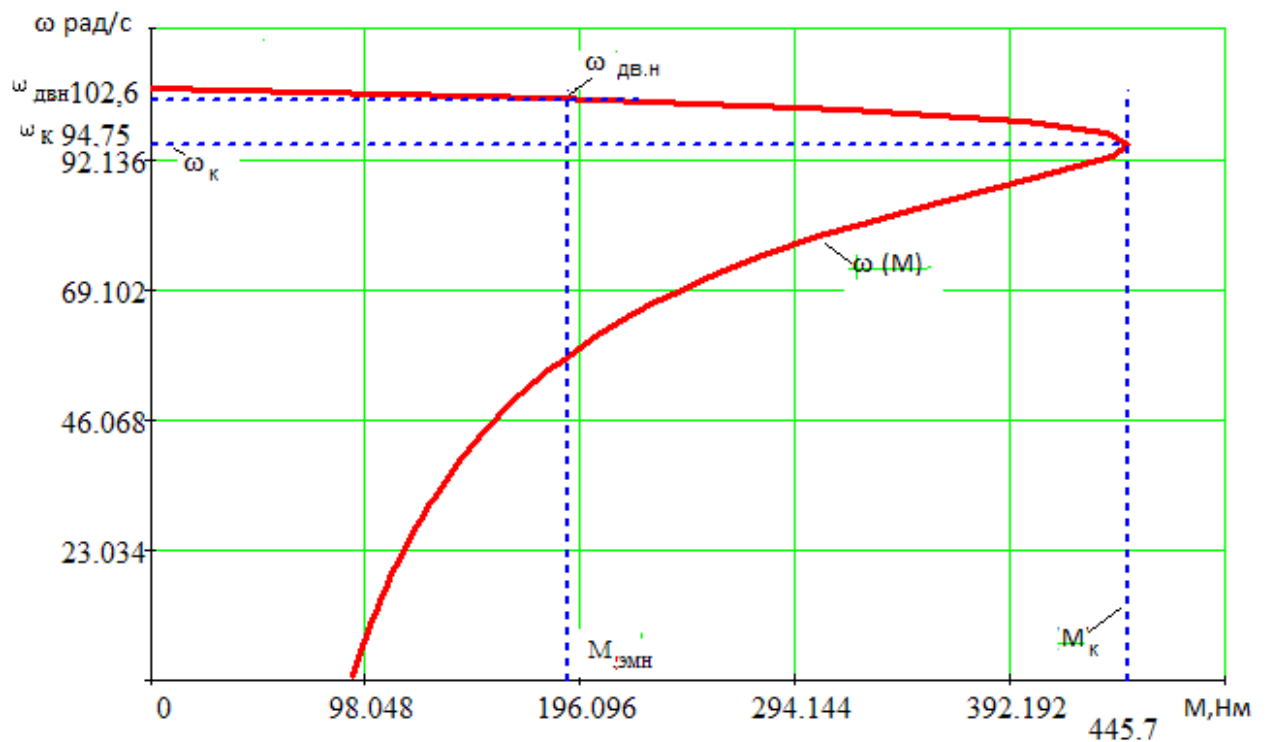


Рисунок 2.4. – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

2.4.2. Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_H = f_{1H} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}, \quad (3.1)$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}}; \quad (3.2)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2}}. \quad (3.3)$$

По вышеприведенным выражениям для скольжений $s = s_H$ и $s \rightarrow 0$ рассчитываются значения тока статора $I_1(s_H)$ и тока холостого хода I_0

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,148^2 + (0,59 + 14,85)^2}} = 14,3 \text{ A},$$

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

$$= \sqrt{14,3^2 + 31,6^2 + 2 \cdot 14,3 \cdot 31,6 \cdot 0,15} = 37,14 \text{ A},$$

где

$$I_2'(s_H) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu})^2}} =$$

$$= \frac{220}{\pm \sqrt{(0,148 + \frac{0,134}{0,02})^2 + (1,4)^2 + (\frac{0,148 \cdot 0,134}{0,02 \cdot 14,85})^2}} = 31,6 \text{ A};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2}} = \frac{1,4}{\sqrt{(0,148 + \frac{0,134}{0,02})^2 + (1,4)^2}} = 0,15;$$

По результатам расчета строим естественные электромеханические характеристики токов статора $I_1 = f(\omega)$ и ротора $I_2' = f(\omega)$, приведенные на рисунке 2.5.

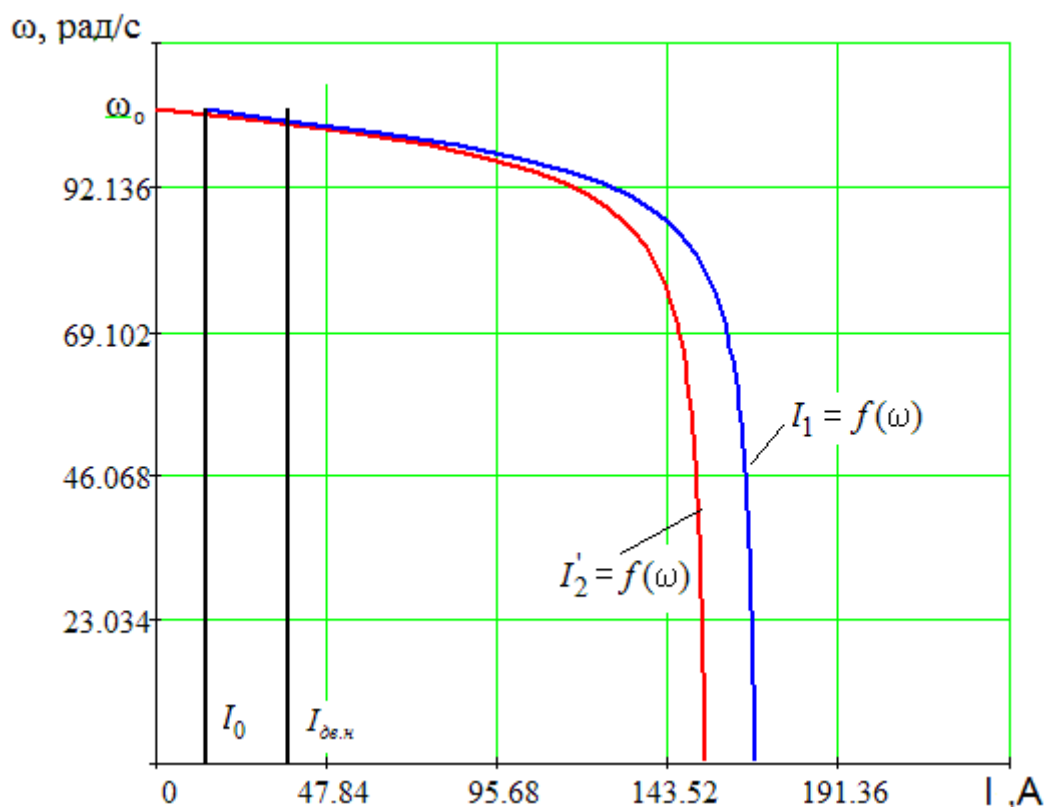


Рисунок 2.5. – Естественные электромеханические характеристики асинхронного электродвигателя

Сравнив значения расчетных параметров характерных точек естественных характеристик двигателя с его справочными данными приведенными в таблице 2.1. и рассчитанными в главе 2, можно сделать вывод об адекватности расчетных параметров схемы замещения двигателя.

2.4.3. Механическая характеристика вентилятора в режиме работы с максимальным давлением

Поскольку механическая характеристика двигателя рассчитана для электромагнитного момента, то полная нагрузка на валу электродвигателя должна учитывать собственный момент трения двигателя. Момент от сил трения на валу электродвигателя можно принять постоянным и равным

$$\Delta M_{с\ д\ в} = M_{э\ м\ н} - M_{д\ в\ н} = 190,12 - 180,3 = 9,8 \text{ Нм}. \quad (2.4)$$

Поскольку напор, развиваемый вентилятором, как показано в [8] пропорционален квадрату частоты вращения, то статический момент сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$ изменяется в зависимости от скорости вращения двигателя в соответствии с выражением

$$\begin{aligned} M_c(\omega) &= \Delta M_{с\ д\ в} + (M_{с.\text{макс}} - \Delta M_{с\ д\ в}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{д\ в.\ н}} \right)^2 = \\ &= 9,8 + (190,12 - 9,8) \cdot \left(\frac{\omega}{102,6} \right)^2, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $M_{с.\text{макс}} = M_{э\ м\ н} = 190,12 \text{ Нм}$ - момент нагрузки при скорости вращения $\omega_{д\ в.\ н} = 102,6 \text{ рад/с}$, равный номинальному электромагнитному моменту двигателя.

Механические характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя, соответствующих механическим характеристикам вентилятора, приведены на рис. 3.4.

Принимаем момент инерции вентилятора $J_{вен} = 3J_{дв} = 3 \cdot 0,2 = 0,6 \text{ кг м}^2$, тогда момент инерции электропривода $J_{э} = J_{дв} + J_{вен} = 0,2 + 0,6 = 0,8 \text{ кг м}^2$.

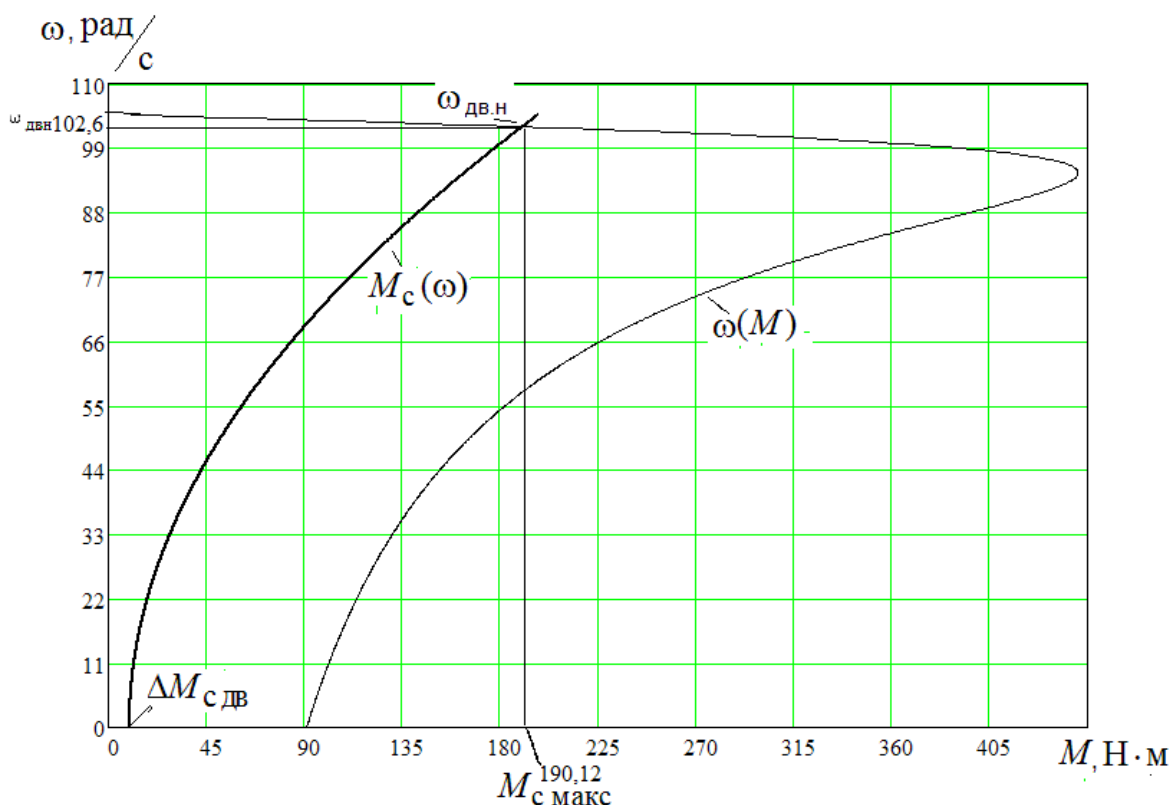


Рисунок 2.6. - Естественная механическая характеристика двигателя $\omega(M)$ и характеристики полного момента сопротивления на валу двигателя $M_c(\omega)$

Из анализа приведённых на рис. 2.6 характеристик следует, что электродвигатель АИР180М6 обеспечивает требуемое значение максимальной скорости вентилятора ВР 80-70-10 $\omega_{\text{дв.н}} = 102,6 \text{ рад/с}$, длительную работу при максимальном моменте нагрузки и более чем двукратную перегрузку по моменту.

3.2. Выбор закона частотного регулирования

Закон частотного регулирования U_1/f_1 при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Для механизмов с постоянной нагрузкой выбирается закон управления

$U_1/f_1 = \text{const}$, для механизмов с «вентиляторной» нагрузкой целесообразно выбрать закон $U_1/f_1^2 = \text{const}$ [9].

Последний является более сложным в реализации, но за счет дополнительного снижения напряжения позволяет уменьшить потребляемую из сети энергию. Для повышения пускового момента на малых скоростях до требуемых значений должна быть предусмотрена возможность настройки вольт-частотной характеристики. Определяя параметры вольт-частотной характеристики, нижним частотам ставят в соответствие значения напряжений выше, чем при выбранном законе регулирования.

3.2.1. Выбор преобразователя частоты

ПЧ выбирается из условий:

$$P_{\text{дв}} \leq P_{\text{ПЧ}}; I_{\text{дв}} \leq I_{\text{ПЧ}}.$$

Для электродвигателя мощностью $P_{\text{дв}} = 18,5 \text{ кВт}$ и номинальным током $I_{\text{ном}} = 36,8 \text{ А}$ выберем преобразователь частоты серии VLT 2800 фирмы Danfoss (область применения: насосы (центробежные) и вентиляторы), имеющий следующие параметры [5]:

- ток на выходе $I_{\text{вых}} = 39 \text{ А}$;
- максимальный ток (60 с) $I_{\text{макс}} = 70,2 \text{ А}$;
- полная выходная мощность $S_{\text{вых}} = 25 \text{ кВА}$;
- активная номинальная мощность $P_{\text{вых}} = 18,5 \text{ кВт}$;
- выходная частота $f_1 = 0,2 \div 132 \text{ Гц}$;
- разрешение по частоте $0,013 \text{ Гц}$;
- диапазон регулирования скорости вращения (разомкнутая система) $D=15:1$;

Контрольные входы и выходы преобразователя VLT 2800:

- 1 релейный выход для сигнализации состояния и ошибок;

- RS-485 для полного контроля и управления приводом.
- 2 аналоговых входа для сигналов задания и обратной связи;
- 1 цифровой выход и 1 аналоговый выход;
- 5 цифровых входов для функций старт/стоп, сброс, подключение термистора и др;

На рисунке 3.1 изображен внешний вид преобразователей частоты VLT 2800.

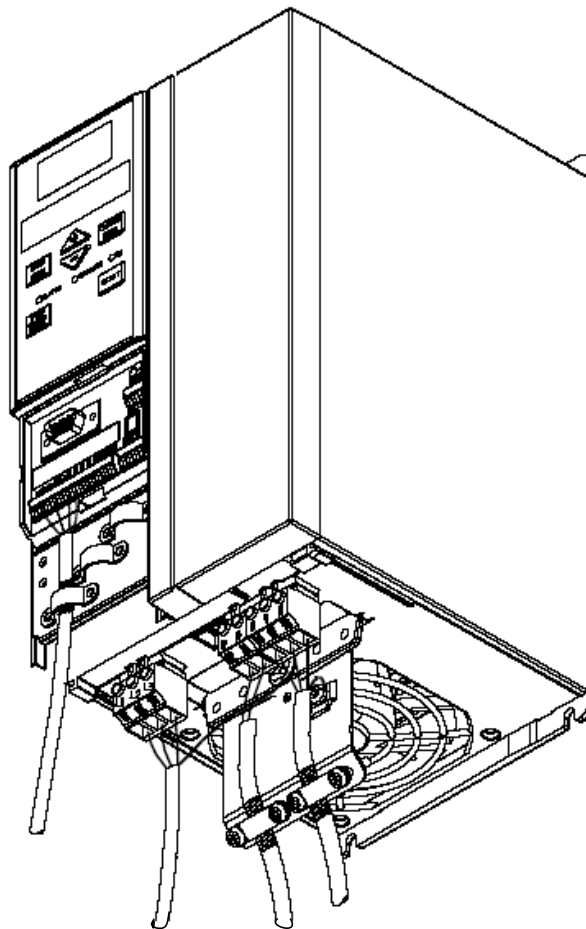


Рисунок 3.1. - Внешний вид преобразователей частоты серии VLT 2800

Данная серия ПЧ разработана для применения с электродвигателями небольшой мощности (от 0,37 до 18,5 кВт.) Преобразователи этой серии имеют малые размеры и допускают монтаж «стенка к стенке». Внутренняя конструкция состоит из двух модулей: силовой части и платы управления.

Преобразователь частоты VLT 2800 PT4 B20 ST RO DB F10 имеет ряд преимуществ:

- Благодаря АМТ - автоматической адаптации к двигателю, которая измеряет параметры двигателя для оптимального управления, повышается КПД системы "преобразователь частоты-двигатель".
- Встроенный ПИД-регулятор осуществляет оптимальное управление процессом регулирования. Точный старт/стоп обеспечивает хорошую повторяемость и точность позиционирования.
- Серия VLT 2800 сконструирована для стабильной работы в промышленных условиях. RFI-фильтр, используется для подавления высокочастотных помех, идущих из сети питания, и позволяет оборудованию нормально функционировать.
- Встроенный фильтр подавления гармоник позволяет укладываться в нормы стандарта IEC 61000-3-2.
- Все преобразователи частоты серии VLT 2800 легко использовать благодаря функции "Быстрое меню", которая включает в себя все необходимые параметры для запуска и нормальной работы. Привод также может управляться и программироваться с внешней панели управления, снабженной графическим дисплеем. Протоколы связи Profibus и DeviceNet позволяют полностью контролировать и управлять приводом с персонального компьютера или контроллера.

На рисунке 3.2. представлена схема подключения ПЧ.

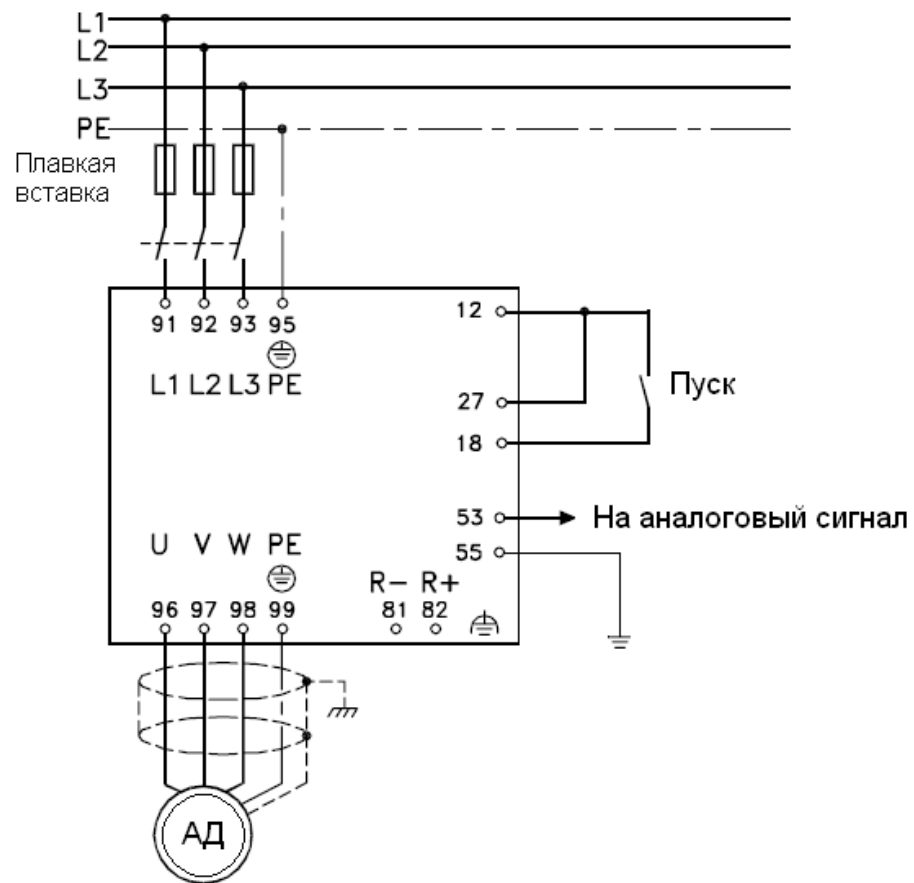


Рисунок 3.2. - Схема подключения ПЧ

Преобразователь частоты питается от трехфазной сети с линейным напряжением 380 В, фазы которой подключаются к клеммам L1, L2, L3, клемм PE заземляется. Сняв заднюю панель, замкнуть клеммы 12 и 27. Асинхронный двигатель подсоединяется к клеммам U, V, W, а клемма PE заземляется.

4. Расчет статических характеристик системы преобразователь – двигатель при частотном регулировании

Вольт-частотная характеристика преобразователя при законе регулирования $U_1 / f_1^2 = \text{const}$, рассчитанная по выражению [6]

$$U_1(f_1) = U_{1\text{фн}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2, \quad (4.1)$$

приведена на рис. 4.1 (характеристика 1).

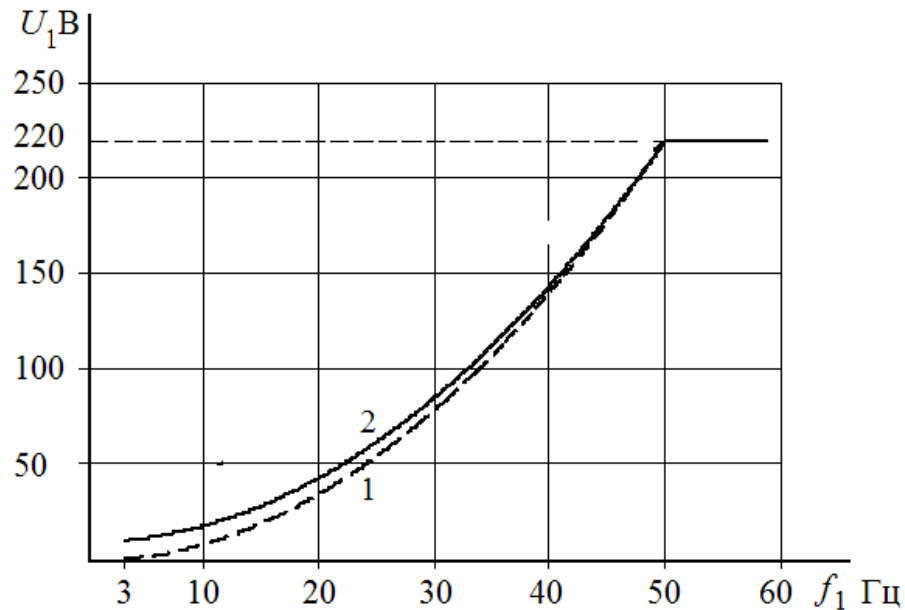


Рисунок 4.1. - Вольт-частотная характеристика преобразователя: 1 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (4.1); 2 - при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ в соответствии с (4.3)

Максимальную частоту инвертора, соответствующую номинальному режиму работы вентилятора определяем из условия обеспечения номинальной рабочей скорости двигателя $\omega_{\text{дв.н}} = 102,6 \text{ рад/с}$. Принимаем максимальное значение частоты инвертора $f_{\text{и макс}} = f_{\text{1н}} = 50 \text{ Гц}$. Для обеспечения пусковой характеристики двигателя исходя из требуемого диапазона регулирования скорости 1:10, принимаем минимальную частоту инвертора $f_{\text{и мин}} = 5 \text{ Гц}$.

4.1. Механические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Механические характеристики $\omega(M)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряда выбранных значений выходной

частоты инвертора: $f_{1H1}=50$ Гц; $f_{1H2}=30$ Гц ; $f_{1H3}=15$ Гц; $f_{1H4}=5$ Гц
 рассчитываются с помощью программы *Mathcad* по выражениям [9]:

$$M(s, f_1) = \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot s \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot U_1^2(f_1) \cdot 0,134}{104,7 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot s \cdot \left[\left(1,4 \cdot \frac{f_1}{50} \right)^2 + \left(0,148 + \frac{0,134}{s} \right)^2 + \left(\frac{0,148 \cdot 0,134}{s \cdot 14,85 \cdot \frac{f_1}{50}} \right)^2 \right]} \quad , (4.2)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1фн} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 ;$$

$$\omega(s, f_1) = 104,7 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1-s) .$$

По результатам расчета на рис. 4.2. построено семейство механических характеристик $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при изменении частоты.

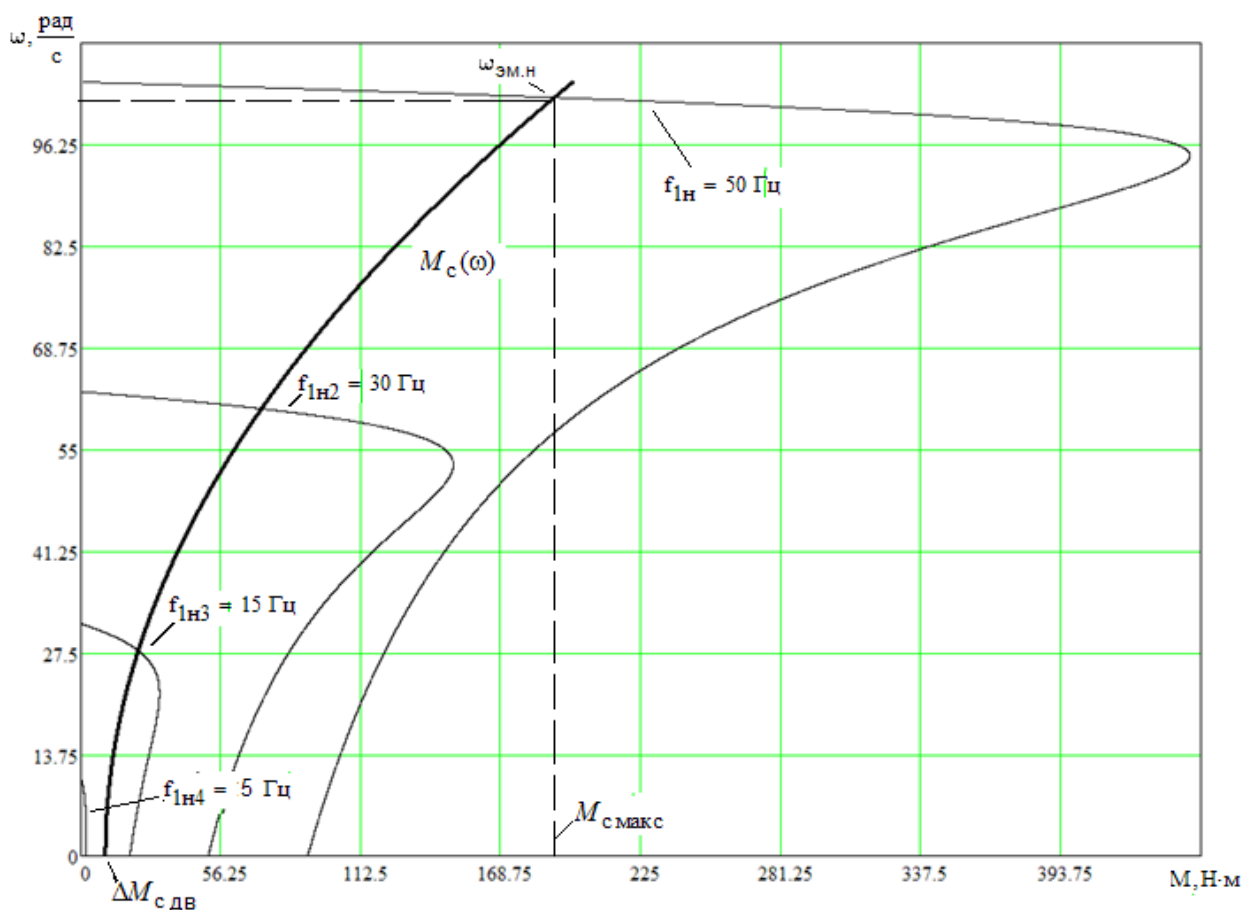


Рис. 4.2.- Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$: $\Delta M_{\text{с.дв}} = 9,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $M_{\text{с.макс}} = 190,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Анализ приведенных на рис. 4.2. механических характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не удастся обеспечить пуск электропривода при выборе начальной частоты инвертора $f_{\text{и.мин}} = 5 \text{ Гц}$.

С целью обеспечения двукратного пускового момента экспериментально выполнен подбор параметров начального участка вольт-частотной характеристики преобразователя. Окончательно выбраны для начального участка характеристики следующие параметры (рис. 4.1.): $U_{1\text{мин}} = 7 \text{ В}$, $f_{\text{и.мин}} = 5 \text{ Гц}$.

В результате вольт-частотная характеристика представлена зависимостью

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 = 7 + (220 - 7) \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2 \quad (4.3)$$

и приведена на рис. 4.1. (характеристика 2).

Механические характеристики системы преобразователь – двигатель, рассчитанные по выражениям (4.2) с учетом выбранной настройки вольт-частотной характеристики (4.3), приведены на рис. 4.3.

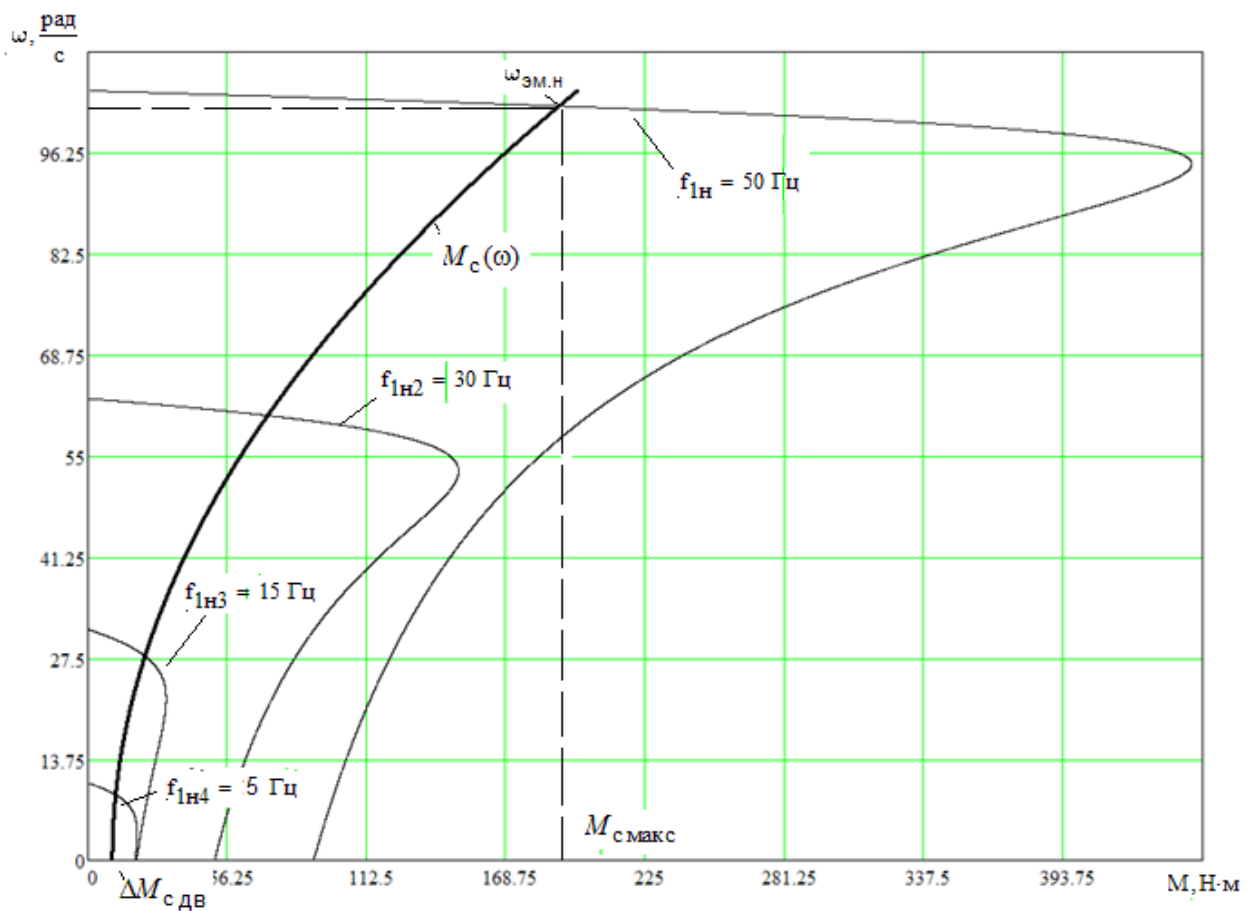


Рисунок 4.3.- Механические характеристики $\omega(M)$ системы преобразователь – двигатель при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

4.2. Электромеханические характеристики системы преобразователь-двигатель при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Электромеханические характеристики $\omega(I_1)$ разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель после настройки вольт-частотной характеристики преобразователя в соответствии с (4.3) рассчитываются для выбранных ранее значений частоты по выражениям [9]:

$$I_1(s, f_1) = \sqrt{I_0^2(f_1) + I_2'^2(s, f_1) + 2 \cdot I_0(f_1) \cdot I_2'(s, f_1) \cdot \sin \varphi_2(s, f_1)}; \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} I_0(f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\sigma} + X_\mu)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1i}}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_1(f_1)}{\sqrt{0,148^2 + (0,59 + 14,85)^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1i}}\right)^2}}; \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} I_2'(s, f_1) &= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} = \\ &= \frac{U_1(f_1)}{\pm \sqrt{\left(0,148 + \frac{0,134}{s}\right)^2 + \left(1,4 \cdot \frac{f_1}{50}\right)^2 + \left(\frac{0,148 \cdot 0,134}{s \cdot 14,85 \cdot \frac{f_1}{50}}\right)^2}}; \\ \sin \varphi_2(s, f_1) &= \frac{X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$= \frac{1,4 \cdot \frac{f_1}{50}}{\sqrt{\left(0,148 + \frac{0,134}{s}\right)^2 + (1,4 \cdot 50)^2}}, \quad (4.7)$$

где

$$U_1(f_1) = U_{1\text{мин}} + (U_{1\text{фн}} - U_{1\text{мин}}) \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}}\right)^2 = 7 + (220 - 7) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2,$$

$$\omega(s, f_1) = 104,7 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot (1 - s).$$

По результатам расчета на рис. 5.4 построено семейство электромеханических характеристик $\omega(I_1)$ системы преобразователь-двигатель.

На рис. 4.3. приведена характеристика полного момента нагрузки $M_c(\omega)$, а на рис. 4.4. соответствующая ей зависимость статического тока нагрузки $I_{1c}(\omega)$, рассчитанная по выражениям (4.4) – (4.7) в интервале частот $f_1 = f_{1н1} \div f_{1н4}$ для значений скольжения s , найденных путем совместного численного решения уравнений для механических характеристик двигателя и нагрузки

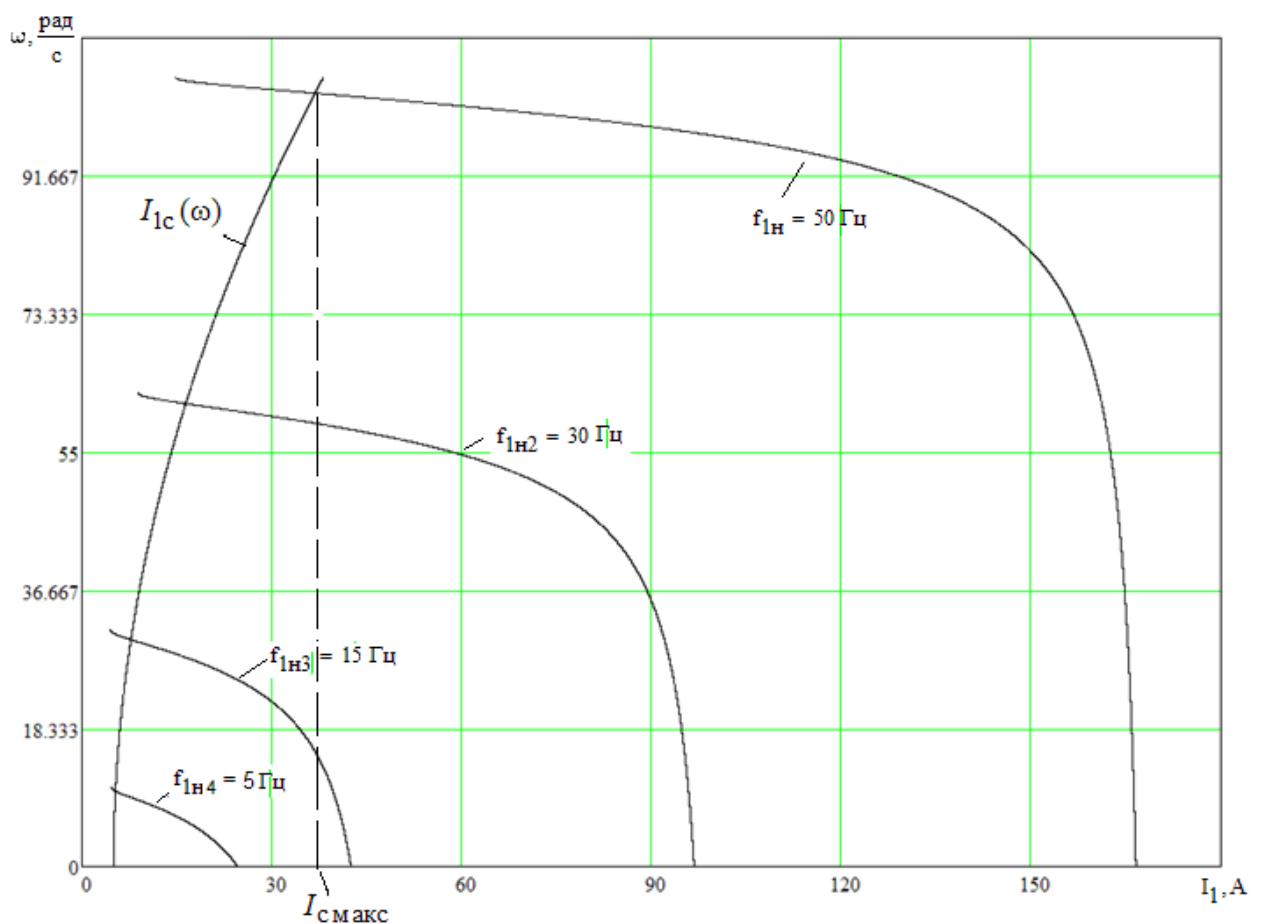


Рисунок 4.4. - Электромеханические характеристики электропривода $\omega(I_1)$ при скалярном управлении после настройки вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3)

Анализ приведенных на рис. 4.3. и 4.4. характеристик электропривода и нагрузки показывает, что при законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (4.3) асинхронный привод обеспечивает пуск вентилятора с начальной частоты инвертора $f_{\text{и. мин}} = 5 \text{ Гц}$, заданный диапазон регулирования скорости и не менее чем двукратную максимальную перегрузку во всём диапазоне регулирования скорости.

5. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

При решении задач анализа и синтеза регулируемых асинхронных электроприводов обычно применяются модели электродвигателя, составленные на базе обобщенной электрической машины и выполненные в неподвижной или вращающейся двухфазной системе координат. На рисунке 5.1. приведена структурная схема силового канала непрерывной линеаризованной системы преобразователь - асинхронный электродвигатель в неподвижной системе координат. Входными координатами структурной схемы являются составляющие напряжения управления преобразователя $U_{уп.\alpha}$ и $U_{уп.\beta}$, а выходной величиной – угловая скорость двигателя ω . Структурная схема (рисунок 5.1) характеризуется следующими промежуточными координатами:

$U_{1\alpha}, U_{1\beta}, I_{1\alpha}, I_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$ – составляющие напряжения, тока статора и потокосцепления ротора в ортогональной системе координат α и β ;

$M_{дв.эм}$ – электромагнитный момент двигателя, Н·м.

Математическое описание силового канала системы преобразователь частоты - асинхронный электродвигатель (ПЧ-АД), в неподвижной системе координат α, β , ориентированной по вектору потокосцепления ротора.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1\alpha} = R_3 \cdot (T_3 p + 1) \cdot I_{1\alpha} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \psi_{2\alpha} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ U_{1\beta} = R_3 \cdot (T_3 p + 1) \cdot I_{1\beta} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \psi_{2\beta} - \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\alpha} - L_m \cdot I_{1\alpha} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\beta}; \\ 0 = (T_2 p + 1) \cdot \psi_{2\beta} - L_m \cdot I_{1\beta} + \frac{L_2}{R_2'} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \psi_{2\alpha}; \\ M_{\text{дв.эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot (\psi_{2\alpha} \cdot I_{1\beta} - \psi_{2\beta} \cdot I_{1\alpha}); \\ \omega = \frac{1}{J_p} \cdot (M_{\text{дв.эм}} - M_c \cdot \text{sign}(\omega)) \end{array} \right.$$

На основании данной системы уравнений была составлена структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат α, β и реактивной нагрузкой приведена на рис. 5.1.

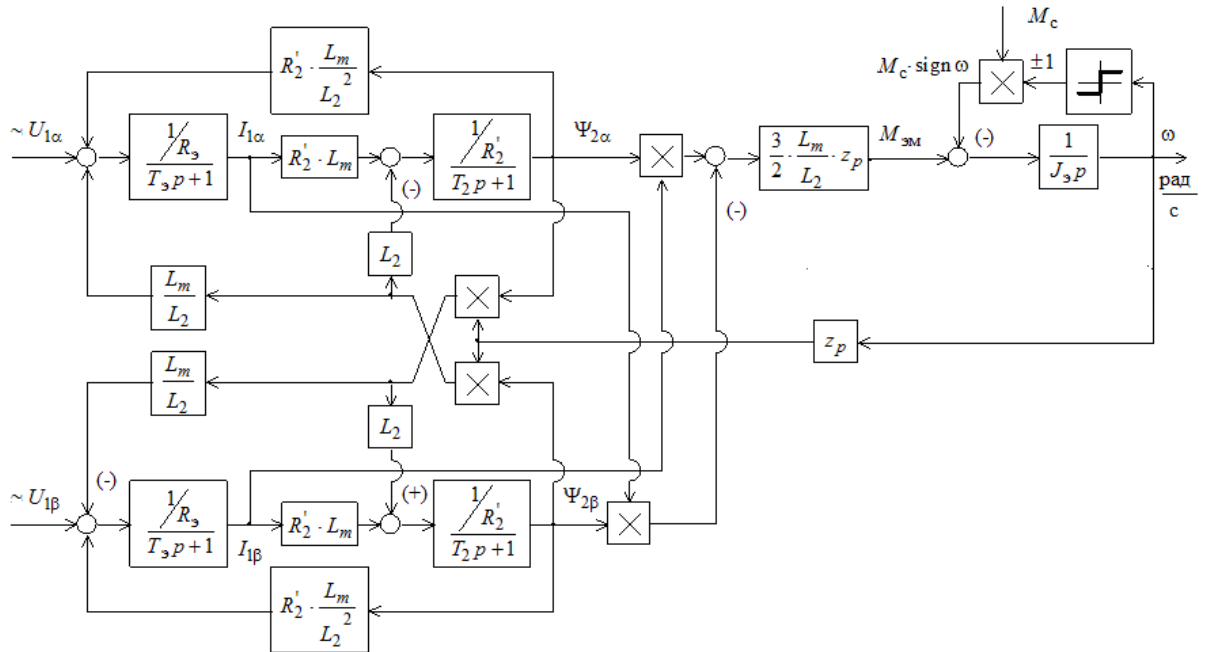


Рисунок 5.1. - Структурная схема силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной двухфазной системе координат α, β

Входными величинами на структурной схеме рис. 5.1. являются напряжения переменного тока – фазные напряжения статорных обмоток двухфазного АД:

$$U_{1\alpha}(t) = U_{1m} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t); \quad U_{1\beta}(t) = U_{1m} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t).$$

Параметры звеньев структурной схемы двигателя.

Эквивалентные индуктивности обмоток:

– статора

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 1,88 \cdot 10^{-3} + 0,047 = 0,0489 \text{ Гн};$$

– ротора

$$L_2 = L'_{2\delta} + L_{\mu} = 2,52 \cdot 10^{-3} + 0,047 = 0,0495 \text{ Гн}.$$

Коэффициент рассеяния

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,047^2}{0,0489 \cdot 0,0495} = 0,0874.$$

Эквивалентное сопротивление

$$R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} = 0,148 + 0,134 \cdot \frac{0,047^2}{0,0495^2} = 0,269 \text{ Ом}.$$

Электромагнитные постоянные времени

$$T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3} = \frac{0,0874 \cdot 0,0489}{0,269} = 0,0159 \text{ с}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} = \frac{0,0495}{0,134} = 0,369 \text{ с}.$$

Момент инерции двигателя $J_{\text{ог}} = 0,2 \text{ кг м}^2$.

В пакете Simulink системы Matlab на основе структурной схемы рисунка 5.1. разработана имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД в неподвижной системе координат и приведена на рисунке 5.2. [9].

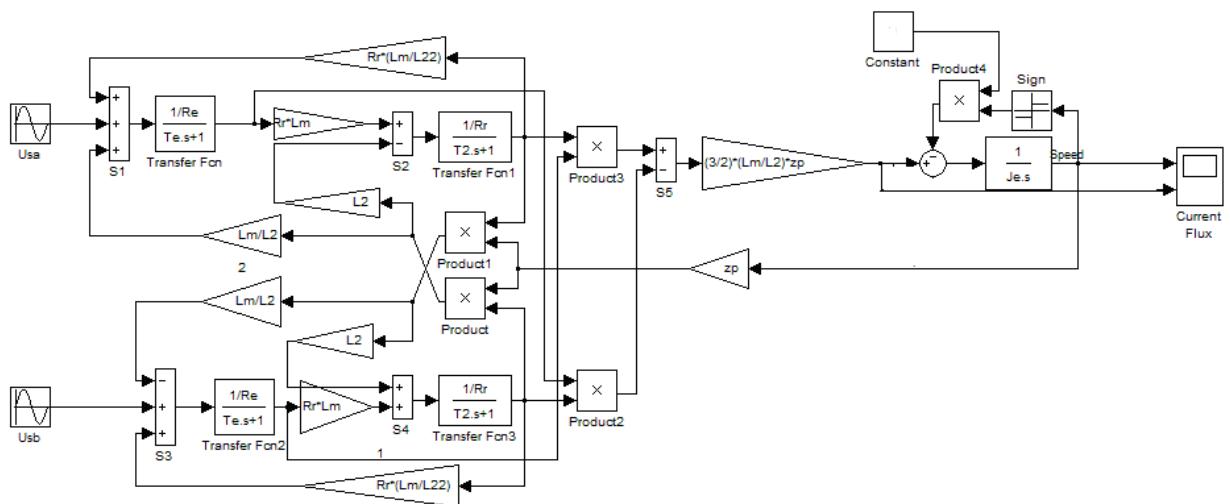


Рисунок 5.2. – Имитационная модель силового канала системы ПЧ-АД

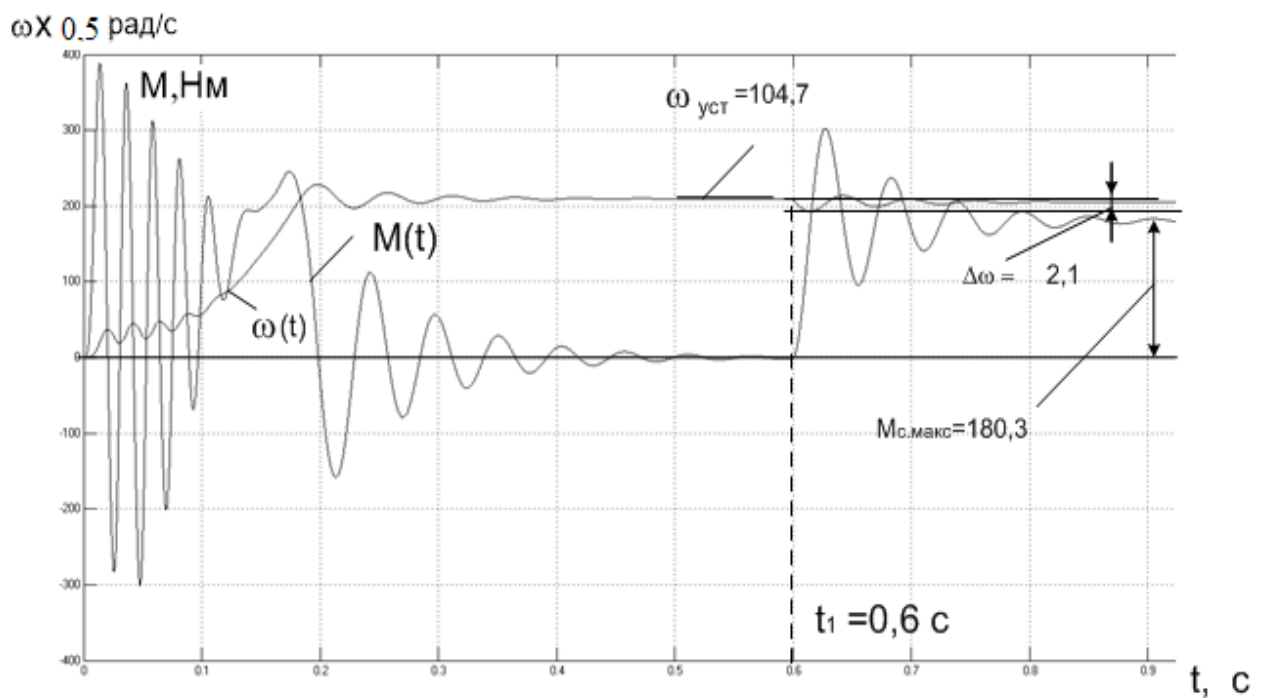


Рисунок 5.3. – Переходная характеристика скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{c.макс}=180,3\text{Нм}$

Переходные процессы скорости ротора и электромагнитного момента АД при прямом пуске и набросе нагрузки $M_{c.макс}=180,3\text{Нм}$, полученные на этой модели приведены на рисунке 5.3. Как видно из рисунка прямой пуск сопровождается большими колебаниями электромагнитного момента АД, что приводит к колебаниям скорости.

Как видно из графика, при набросе нагрузки, равной номинальному моменту двигателя, частота вращения вала двигателя уменьшается с синхронной $\omega_0 = 104,7$ рад/с до $\omega_{\text{дв.н}} = 102,6$ рад/с, величина скольжения

$$s = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв.н}}}{\omega_0} = \frac{104,7 - 102,6}{104,7} \cdot 100 = 2,1\%$$

соответствует номинальному значению (таблица 2.1).

5.1 Функциональная схема системы скалярного частотного управления

В простейшем случае частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением реализуется по разомкнутой структуре.

Функциональная схема такого частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением, выполненная по разомкнутой структуре, приведена на рисунке 5.4. АД выполнен в виде двухфазной модели в неподвижной системе координат α, β [9]. На функциональной схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

ω - фактическое значение угловой скорости вращения двигателя;

ЗИС - задатчик интенсивности скорости с линейной характеристикой;

ФНУ - формирователь напряжений управления двухфазным АД, который формирует два напряжения переменного тока U_α^* и U_β^* при применении

структурной схемы АД в неподвижной системе координат статора α, β ;

ФФН – формирователь фазных напряжений двухфазного двигателя.

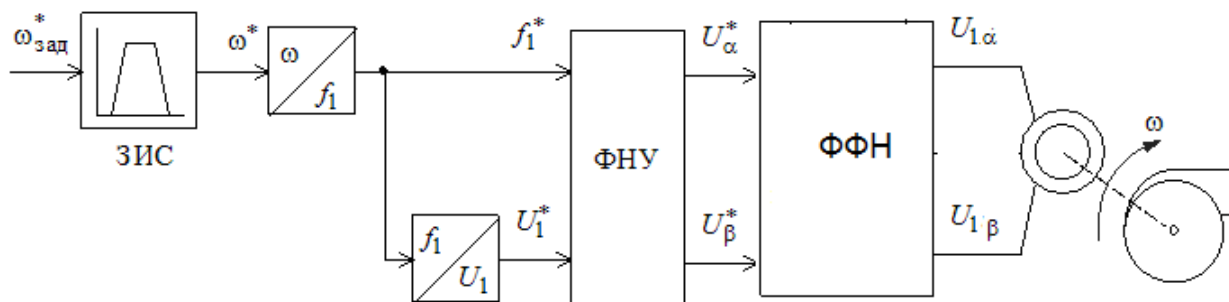


Рисунок 5.4. - Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

В разомкнутой системе электропривода со скалярным управлением при уменьшении частоты максимальный момент двигателя уменьшается.

Основная причина этого – возрастания влияния активного сопротивления обмотки статора при снижении частоты питающего напряжения. При законе регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$, как было показано выше, с целью обеспечения пускового момента на малых скоростях в преобразователе должна быть предусмотрена функция корректировки (повышение начального значения напряжения) вольт-частотной характеристики в области малых частот выходного напряжения инвертора. Либо, как показано в [9], можно применить так называемую IR - компенсацию (повышение фазного напряжения инвертора на величину падения напряжения на обмотке статора $I_1 \cdot R_1$) в области малых частот.

Для ограничения момента и тока АД в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых по технологии невозможны механические перегрузки (к таким механизмам можно отнести привод вентиляторов), достаточно применения задатчика интенсивности с линейной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости.

В соответствии с функциональной схемой, представленной на рисунке 5.4. из библиотеки имитационных моделей систем ПЧ-АД, предложенных

[10] в среде *Simulink* системы *MatLab* выбираем модель, показанную на рисунке 5.5. Имитационные модели входящих в нее блоков представлены на рисунках 5.6 -5.11.

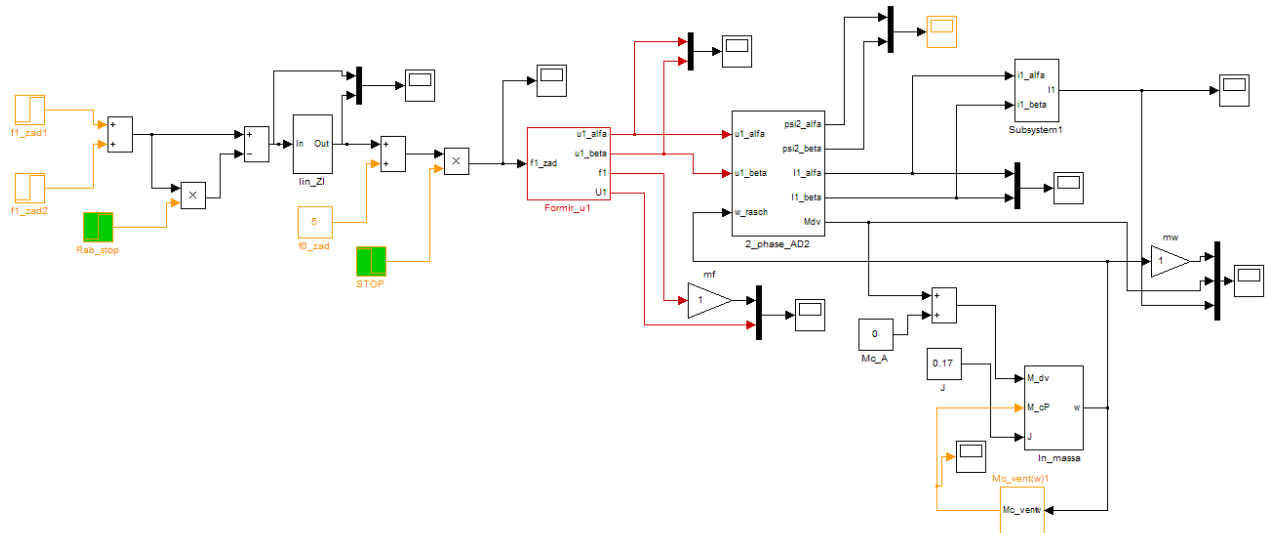


Рисунок 5.5. - Имитационная модель разомкнутой системы ПЧ-АД со скалярным управлением

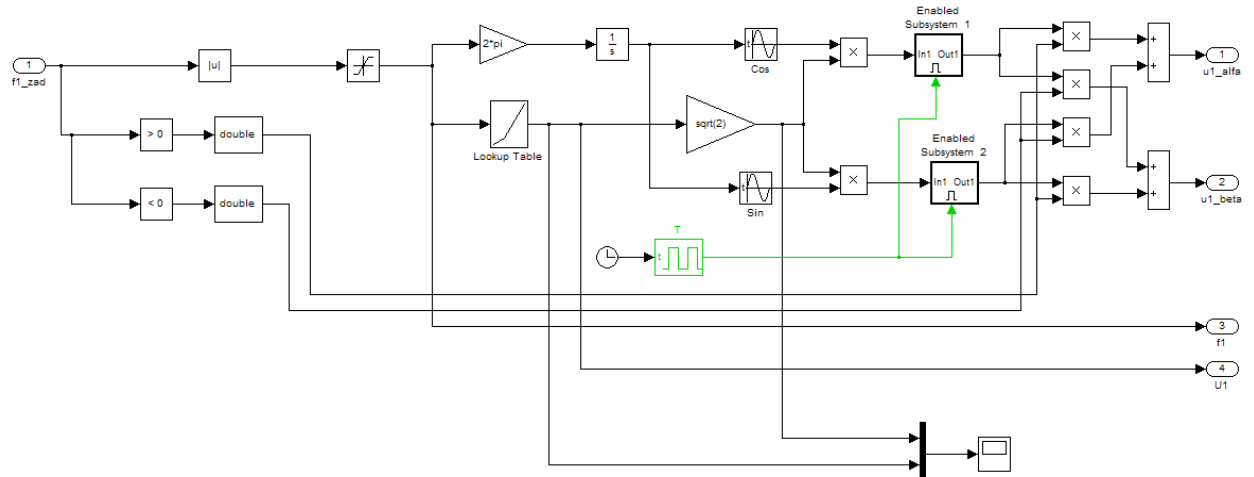


Рисунок 5.6. - Имитационная модель формирователя фазных напряжений статорных обмоток двухфазного двигателя в неподвижной системе координат α, β

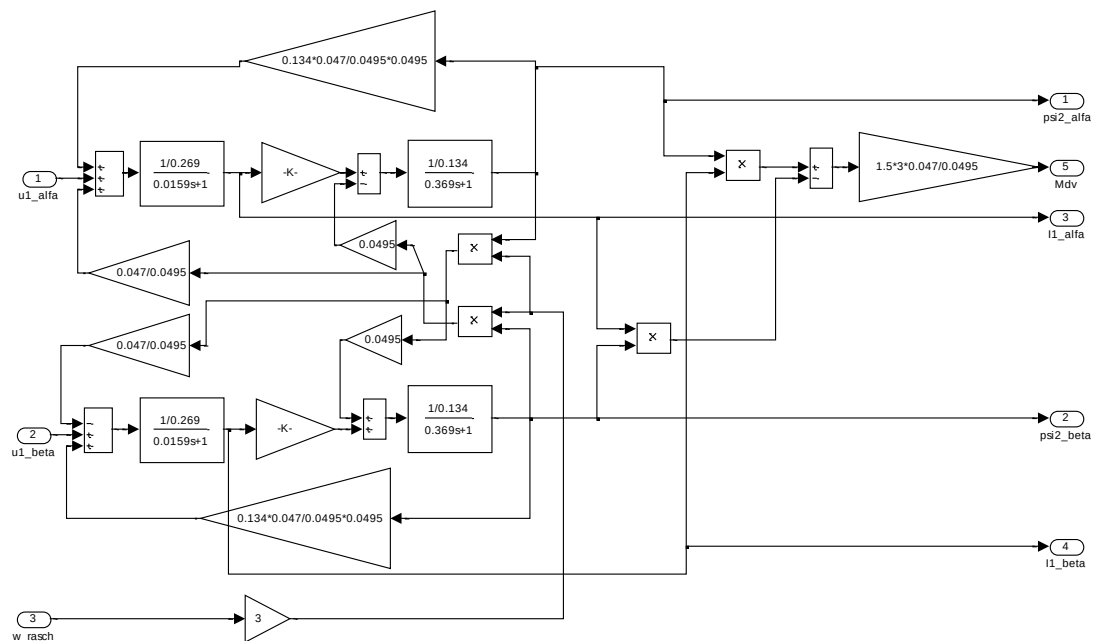


Рисунок 5.7. - Имитационная модель АД в неподвижной системе координат α, β

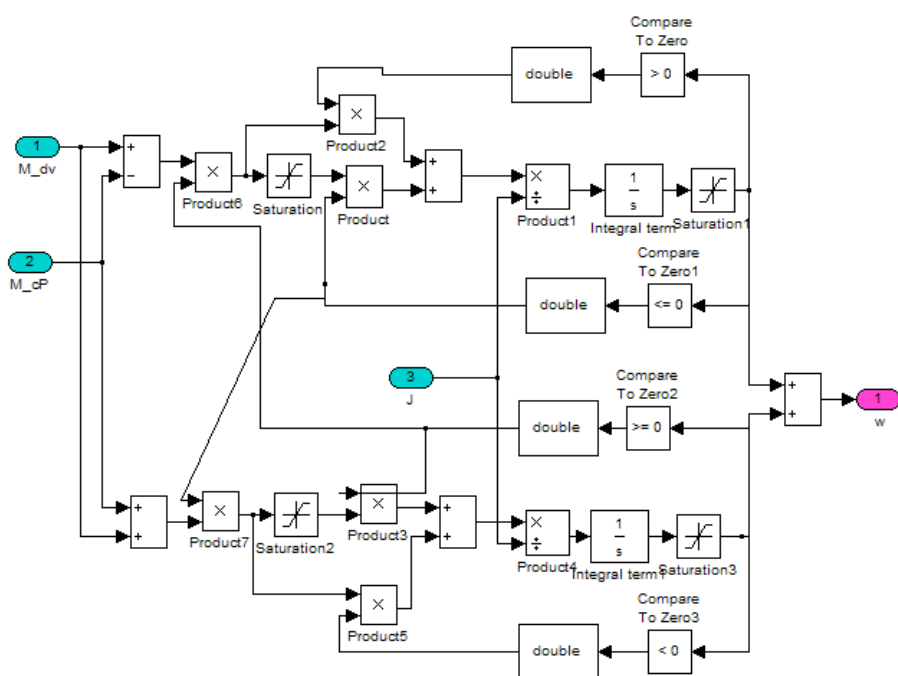


Рисунок 5.8. – Имитационная модель одномассовой механической системы с моментом нагрузки реактивного характера

Имитационная модель, представляющая вентиляторную нагрузку, согласно выражению (2.5)

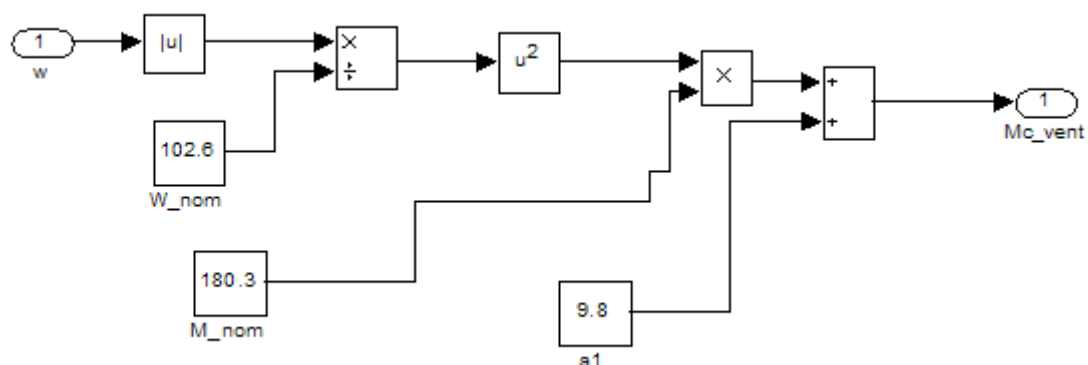


Рисунок 5.9. – Имитационная модель вентиляторной нагрузки

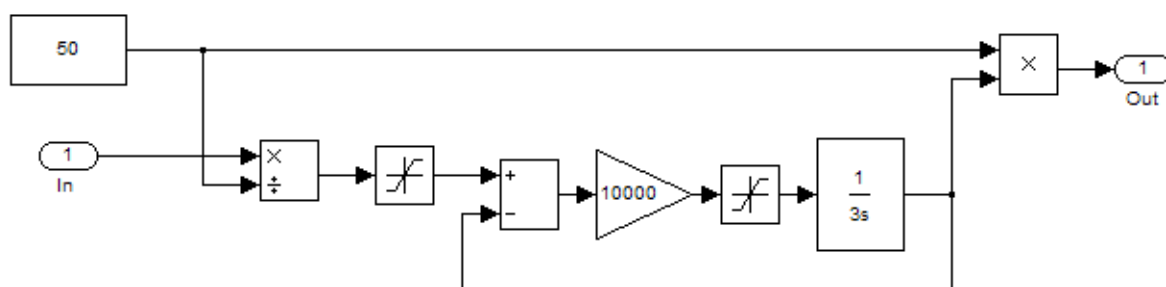


Рисунок 5.10. – Имитационная модель датчика интенсивности с линейной выходной характеристикой

На рисунке 5.11. представлена математически рассчитанная и аппроксимированная ломаными линиями кривая зависимости $f = U_1 / f_1^2$.

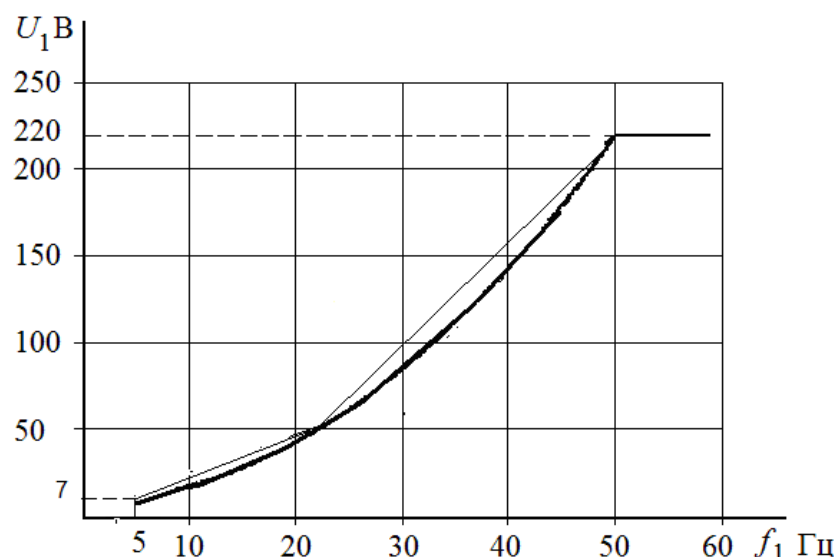


Рисунок 5.11. - Кривая зависимости $U_1(f_1)$

Кривая зависимости $U_1(f_1)$ аппроксимированная отрезками прямых представлена в таб.5.1. и набрана в нелинейном блоке *Lookup Table* в имитационной модели формирователя фазных напряжений.

Таблица 5.1.- Параметры вольт-частотной характеристики преобразователя

f_1 , Гц	5	22	50
U_1 , В	7	50	220

Имитацию квантования по времени фазных напряжений на выходе автономного инвертора напряжения преобразователя частоты (рис. 5.6), происходящее в процессе его широтно-импульсной модуляции (ШИМ) производится с помощью стандартных блоков библиотеки *Simulink* : *Pulse Generator* и *Enabled Subsystem* [9].

Период квантования по времени напряжения инвертора ПЧ принимаем равным величине постоянной времени запаздывания при ШИМ

$$T_{ин} = \frac{1}{f_{нч}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с},$$

где $f_{нч} = 10000 \text{ Гц}$ - несущая частота инвертора.

5.2. Имитационные исследования частотно-регулируемого асинхронного электропривода вентилятора со скалярным управлением

Имитационные исследования электропривода вентилятора проводятся с целью проверки его работоспособности в следующих основных технологических режимах: пуск на любую рабочую скорость; переход с одной рабочей скорости на другую и останов в режиме электрического торможения. В процессе имитационных исследований рассмотрим следующие режимы работы системы электропривод – вентилятор [9]:

- пуск электропривода на минимальную рабочую скорость;
- пуск электропривода с минимальной рабочей скорости на максимальную;
- торможение электропривода с максимальной скорости до минимальной;
- останов электропривода.

К электроприводу вентилятора не предъявляется жестких требований к динамическим показателям. Поэтому при выборе параметров настройки задатчика интенсивности скорости прежде всего следует исходить из условия обеспечения мягкого пуска электропривода. В ходе имитационных экспериментов установлено, что для обеспечения мягкого пуска вентилятора достаточно принять постоянную времени задатчика $T_{зи} = 3 \text{ с}$.

В качестве примера рассмотрена отработка электроприводом вентилятора следующего цикла:

I – пуск на минимальную частоту $f_{и. мин} = 5 \text{ Гц}$;

II – переход на тах рабочую скорость вентилятора ($f_{р. макс} = 50 \text{ Гц}$);

- III – движение на тах рабочей скорости;
 IV - переход на минимальную частоту ($f_{н. мин} = 5 \text{ Гц}$);
 V - движение на минимальной рабочей скорости;
 VI - – останов электропривода $f_{н. зад} = 0 \text{ Гц}$.

На рис. 5.12. приведены временные характеристики отработки электроприводом вентилятора с законом регулирования $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и настройкой вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1.) принятого цикла работы.

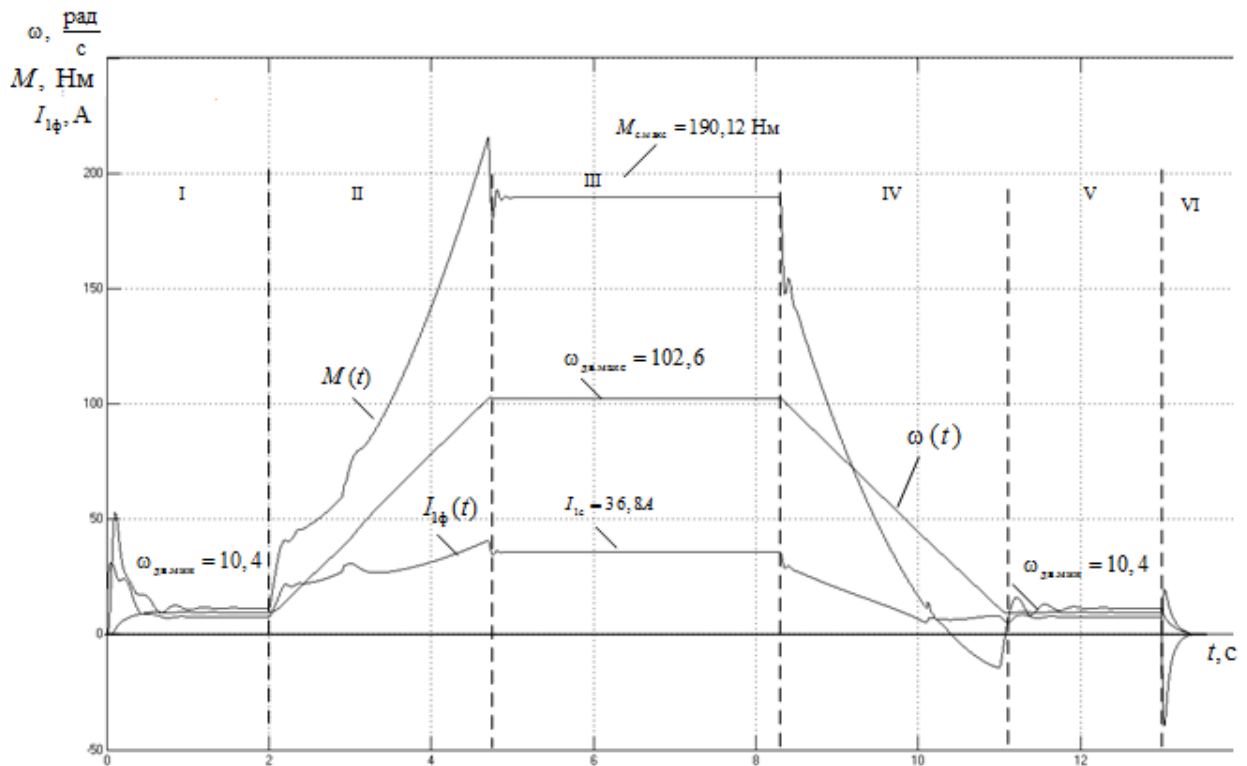


Рисунок 5.12. – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом вентилятора заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1): графики переходных процессов – скорости $\omega(t)$, момента $M(t)$, фазного тока двигателя $I_{1\phi}(t)$

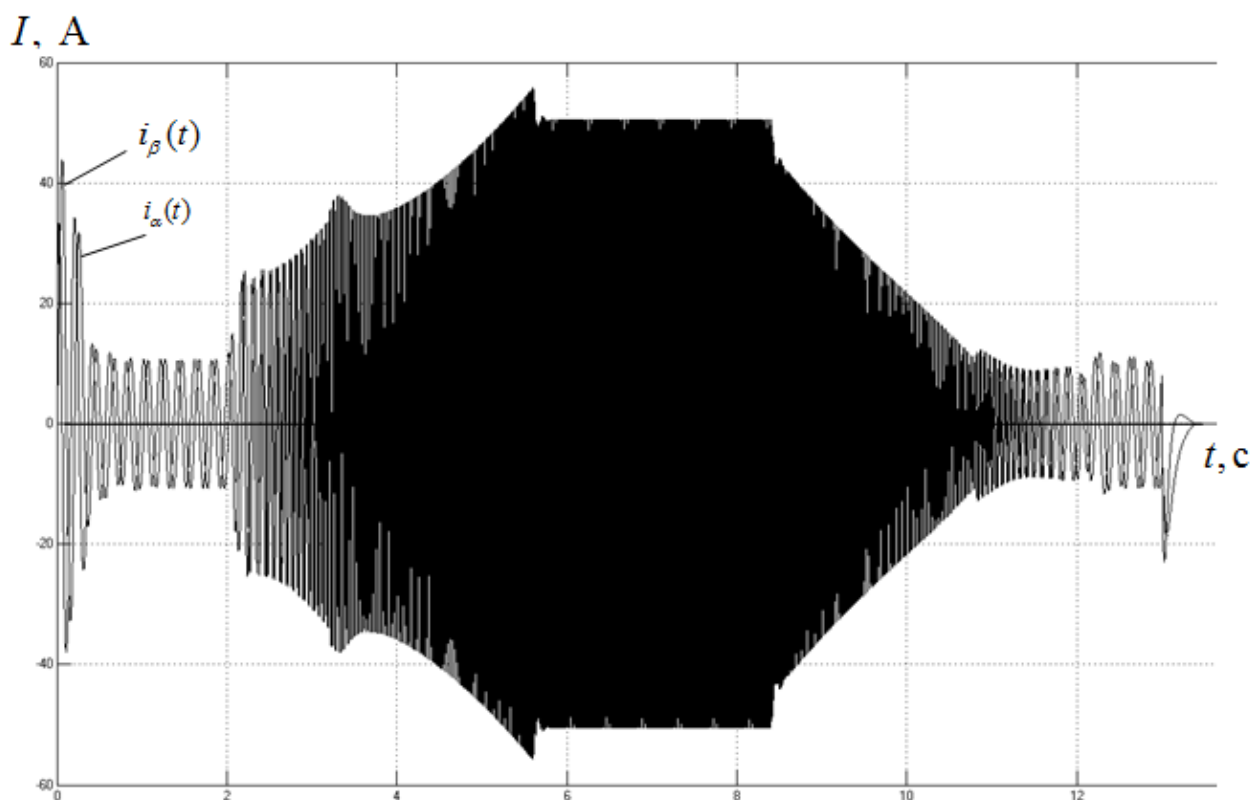


Рисунок 5.13. – Результаты имитационных исследований отработки электроприводом вентилятора заданного цикла при настройке вольт-частотной характеристики в соответствии с (таб.5.1): графики переходных процессов – фазных токов двигателя $i_\alpha(t)$ и $i_\beta(t)$

Выводы. Полученные результаты имитационных исследований доказывают, что частотно-регулируемый асинхронный электропривод вентилятора под «вентиляторной» нагрузкой при скалярном управлении с законом управления $U_1/f_1^2 = \text{const}$ и корректировкой вольт-частотной характеристики в соответствии с таб.5.1 обеспечивает пуск электропривода с начальной частоты $f_{\text{н. мин}} = 5 \text{ Гц}$ и требуемый диапазон регулирования скорости вентилятора. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется и может быть изменено путём выбора значения постоянной времени задатчика Интенсивности скорости.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе целью является разработка электропривода вентилятора.

По результатам расчета аэродинамических характеристик определена требуемая мощность вентилятора, выбран электродвигатель серии АИР180М6, а также преобразователь частоты VLT 2800 фирмы Danfoss.

Проанализирован и выбран наиболее подходящий, для электропривода вентилятора закон регулирования – скалярное управление U/f^2 . Благодаря этому, за счет дополнительного снижения напряжения на низких частотах, уменьшается потребляемая из сети энергия. По результатам расчета статических характеристик оказалось, что применение закона $U/f^2 = \text{const}$ требует настройки вольт-частотной характеристики на начальном участке, чтобы обеспечить как пуск с начальной частоты инвертора 5 Гц так и заданный диапазон регулирования скорости 1:10.

Результаты аналитических расчетов и имитационного моделирования подтверждают правильность выбора силовых элементов – электродвигателя и преобразователя – и реализации системы автоматического частотно-регулируемого электропривода вентилятора. Переходные процессы в электроприводе протекают плавно с ограничением динамического момента, токов двигателя и преобразователя. Время пуска и электрического торможения электропривода определяется выбором значения постоянной времени задатчика интенсивности.

Система ПЧ – АД обеспечивает требуемые характеристики вентилятора, а система автоматического регулирования со скалярным управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска и воздействия возмущений с принятыми параметрами и полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

В разделе производственной и экологической безопасности проведен анализ вредных факторов, произведен обзор техники безопасности, а также-

производственной санитарии, пожарная безопасность технологического процесса.

В организационно-экономической части выполнено планирование проектных работ, а также произведены расчеты сметы затрат на проектирование работ, расчеты капитальных вложений на реализацию и расчеты расходов при эксплуатации данного электропривода. Выполнен расчет экономической эффективности показывающий реальное снижение затрат на эксплуатацию данного оборудования