

Оглавление

Введение.....	3
Обзор литературы.....	4
Объект и методы исследования	5
1. Основные типы и исполнения вентиляторов.....	6
1.1. Вентиляторы по конструктивному исполнению	7
1.1.1. Осевой (аксиальный) вентилятор.....	7
1.1.2. Центробежный (радиальный) вентилятор.....	7
1.1.3. Вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный).....	8
1.2. Вентиляторы по исполнению	9
1.2.1. Многозональные вентиляторы	9
1.2.2. Канальные вентиляторы (прямоточный).....	10
1.2.3. Крышные вентиляторы (вытяжной)	11
2. Устройства плавного пуска и их функции	11
3. Выбор и обоснование системы ЭП	14
4. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик силовой цепи.....	15
4.1. Определение области работы электропривода.....	15
4.2. Параметры вентилятора	16
4.3. Расчет параметров электродвигателя	19
4.3.1. Технические данные электродвигателя.....	19
4.3.2. Определение дополнительных параметров двигателя по справочным техническим данным.....	19
4.3.3. Расчет естественной механической характеристики	22
4.3.4. Расчет естественных электромеханических характеристик.....	25
4.4. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода	27
4.5. Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода	30
5. Создание имитационной модели в среде Matlab Simulink	33
5.1. Имитационная модель прямого пуска двигателя с вентиляторной нагрузкой.....	33
5.2. Создание имитационной модели с плавным пуском в среде Matlab Simulink	41
Заключение.....	46
Список использованных источников.....	47

Реферат

Выпускная квалификационная работа бакалавра содержит 93 страницы, 25 рисунков, 22 источников, 7 таблиц.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, тиристорный регулятор напряжения, вентилятор.

Объектом исследования является электропривод приточного вентилятора на базе системы «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный электропривод».

Цель работы: выбрать силовую схему электропривода, выбрать вентилятор, рассчитать параметры электродвигателя, выбрать тиристорный регулятор напряжения, исследовать работу системы при прямом и плавном пуске.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007 на белой бумаге формата А4 с использованием программ MathCAD15 и MatlabR2012b.

Обозначения и сокращения

АД – асинхронный двигатель.

ТП – тиристорный преобразователь.

ТРН – тиристорный регулятор напряжения.

ЭП – электрический привод.

Введение

Ещё в древности применялись попытки организовать вентиляцию закрытых помещений. Вплоть до начала XIX века вентиляция помещений как правило сводилась к естественному проветриванию, которое обеспечивало поступление свежего воздуха. М.В. Ломоносов впервые создал теорию о том, как организовать естественное движение воздуха по трубам и каналам. Следующим шагом была разработка и изложение положений, определяющих интенсивность воздухообмена через неплотности наружных ограждений в помещениях с отоплением.

В начале XIX века также начинают разрабатываться системы вентиляции с тепловым побуждением воздуха, поступающего в помещение. Исследователи приходили к выводу, что такой метод был далек от совершенства из-за того, что впустую расходовалось большое количество теплоты. Тогда Э. Х. Ленд впервые высказал предположение о том, что наиболее полная и эффективная вентиляция может быть достигнута исключительно механическим путем.

Технология вентилирования помещений начала быстро развиваться после появления центробежных вентиляторов. В 1832 году А.Саблуковым был предложен первый успешно работающий экземпляр. Через три года, в 1835 году он был использован для организации вентиляции Чагирского рудника на Алтае. Саблуков сразу же предположил, что его использование будет эффективно при вентиляции помещений, трюмов кораблей, для ускорения испарений и сушки. Как следствие, уже к концу XIX века вентиляция с механическим побуждением начала получать широкое распространение.

Обзор литературы

Проблема плавного пуска асинхронных двигателей, используемых в системах вентиляции, является очень важной, так как в большинстве случаев используется прямой пуск, который влечет за собой ряд проблем, например, значительное увеличение пускового тока, удары и рывки в механической части. Благодаря своей актуальности, решением данной проблемы занимались многие специалисты и их труды были опубликованы на различных известных ресурсах. Итак, основной задачей данного раздела является поиск данных решений и применение их к данной работе.

Для начала поиска необходимо сформировать основные ключевые слова. Выбор ключевых слов является важной задачей, так как неверный их выбор может являться причиной того, что будет найдена неподходящая статья, либо материала не будет найдено вовсе. На основании обозначенной проблемы были выбраны следующие ключевые слова:

Вентиляция

Асинхронный двигатель

Плавный пуск

Основными источниками, в которых производился поиск, были российские и международные патентные базы (<http://www1.fips.ru>, <http://ru.espacenet.com/>), крупнейшая в мире база рефератов и цитирования – Scopus, политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных – Web of Science. На основании поисковых запросов были выделены следующие, наиболее подходящие источники, которые рассматривают проблему пуска асинхронного двигателя в системе вентиляции.

Были найдены следующие способы пуска: изменение числа пар полюсов, использование частотного преобразователя и тиристорного регулятора напряжения.

Изменение числа пар полюсов является наиболее старым и наименее эффективным способом пуска, так как дает исключительно ступенчатое

регулирование скорости, что также ведет за собой броски тока и лишние удары в кинематике.

Частотный преобразователь является наиболее перспективным устройством в современном мире, однако его применение не всегда оправдано из-за высокой стоимости по сравнению тиристорным регулятором напряжения. Тиристорный регулятор напряжения не позволяет получать большой диапазон регулирования скорости, но отлично показывает себя при использовании в качестве устройства плавного пуска. Поэтому в работе будет рассмотрен тиристорный регулятор напряжения.

Более подробное описание использования такого устройства будет представлено в данной работе.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является электропривод приточного вентилятора на базе системы «тиристорный регулятор напряжения – асинхронный электропривод».

В процессе работы над дипломом я опирался на методы: теоретического анализа, изучения материалов периодических и научных изданий, а также моделирования.

1. Основные типы и исполнения вентиляторов

1 Типы вентиляторов;

1.1 Осевой (аксиальный) вентилятор;

1.2 Центробежный (радиальный) вентилятор;

1.3 Вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный);

2 Вентиляторы по исполнению;

2.1 Многозональные вентиляторы;

2.2 Канальные вентиляторы (прямоточный);

2.3 Крышные вентиляторы (вытяжной);

Вентилятор — устройство для перемещения газа. В общем случае и привычном нам виде, вентилятор - это ротор, с закрепленными на нем лопатками. Эти лопатки, при вращении ротора, сталкиваются с воздухом, отбрасывают и перемешивают его. От формы лопаток и от их положения зависит направление, в котором будет нагнетаться воздух.

Вентиляторы, применяемые для перемещения воздуха, можно разделить на три основных вида по типу конструкции:

- осевые (аксиальные);
- центробежные (радиальные);
- диаметральные (тангенциальные).

Как правило вентиляторы используются для перемещения и перемешивания воздушных масс (иными словами для вентиляции помещений), для снабжения процесса горения кислородом посредством нагнетания воздуха (воздуходувки). А особенно мощные осевые вентиляторы могут быть использованы в качестве движителя, за счёт того, что отбрасываемый воздух, создаёт силу противодействия (по третьему закону Ньютона), действующую на ротор.

1.1. Вентиляторы по конструктивному исполнению

1.1.1. Осевой (аксиальный) вентилятор

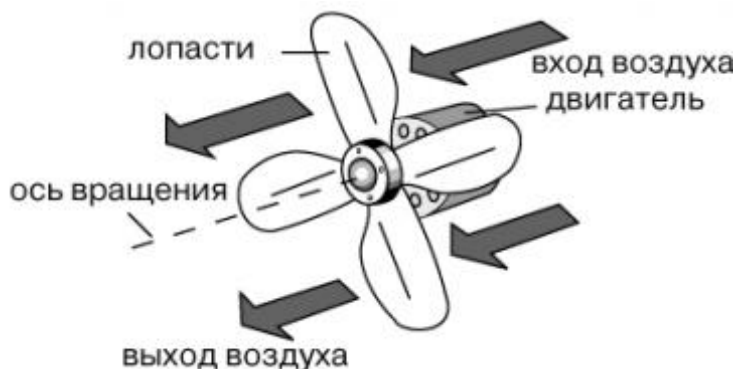


Рисунок 1.1 – Осевой (аксиальный) вентилятор

Лопасты данного вентилятора (или же как их ещё называют "лопатки") перемещают воздух вдоль оси, вокруг которой происходит вращение. Из-за совпадения направления движения всасываемого и нагнетаемого воздуха, а также за счёт своей простоты изготовления и применения, такой вид конструкции встречается наиболее часто среди всех прочих.

Такой вид вентилятора применяется во многих случаях. Их можно встретить в электронике (кулеры для охлаждения), в привычных бытовых вентиляторах и даже в турбовентиляторах авиационных двигателей.

1.1.2. Центробежный (радиальный) вентилятор

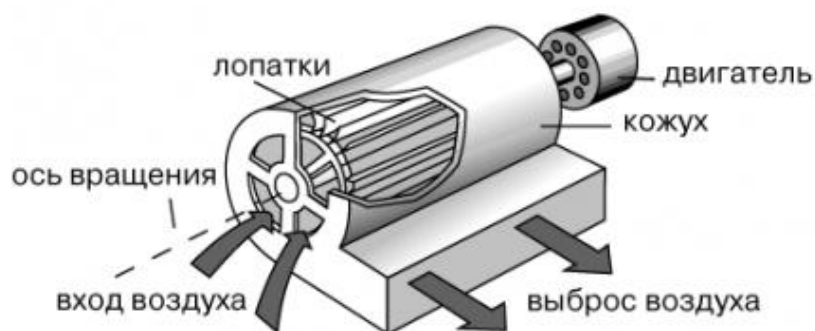


Рисунок 1.2 – Центробежный (радиальный) вентилятор.

Ротор такого вентилятора состоит из лопаток спиральной формы. Через отверстие на входе всасывается воздух внутрь ротора, в котором он приводится во вращательное движение. За счёт центробежной силы и формы лопаток воздух направляется в специальное выходное отверстие спирального кожуха. Иными словами, нагнетаемый воздух располагается под прямым углом к входному. В промышленности такие вентиляторы получили крайне широкое распространение.

Центробежные вентиляторы изготавливаются из алюминиевых сплавов, как правило, комплектуются взрывозащищенными электродвигателями с защитой от искрообразования.

Вентиляторы с такой конструкцией могут использоваться для перемещения воздушных масс и газопаровоздушных взрывоопасных смесей с температурой до 80°C, не вызывающих коррозии проточной части вентилятора, при условии, что они не содержат взрывчатых веществ, липких и волокнистых материалов. Запылённость помещений должна быть не более 10 мг/м³, температура окружающей среды от -40 до +45 °C.

1.1.3. Вентилятор диаметрального сечения (тангенциальный)

Ротор данной вентилятора представляет собой "беличью клетку", т.е. лопатки вентилятора располагаются вдоль периферии, а сам ротор пустой в центре. Представляет собой удлинённый продолговатый цилиндр, у которого вместе стенок загнутые вперед лопасти. В корпус вентилятора встроена крыльчатка, которая обладает формой диффузора, по конструкции схожий с центробежным вентилятором. Разница лишь в том, что ротор заметно длиннее и воздух забирается по всей его длине с фронтальной стороны вентилятора, а не только с торца. Лопатки захватывают воздушные массы, а диффузор обеспечивает их ускорение в нужном направлении. Преимуществом таких вентиляторов является то, что они достаточно бесшумны во время работы и производят воздушный поток, который равномерно распределён по всей длине ротора. Обеспечиваемое такими вентиляторами давление значительно ниже, они достаточно громоздки и

обеспечивают достаточно большой расход воздуха. Низкий напор, который обеспечивают такие вентиляторы, не позволяет обеспечивать глубокую фильтрацию воздуха. Такие вентиляторы широко применяются в фанкойлах, кондиционерах и подобных устройствах, в которых не так важен напор воздуха.

1.2. Вентиляторы по исполнению

Также вентиляторы разделяют по способу исполнения:

- многозональные;
- канальные;
- крышные;
- потолочные.

1.2.1. Многозональные вентиляторы

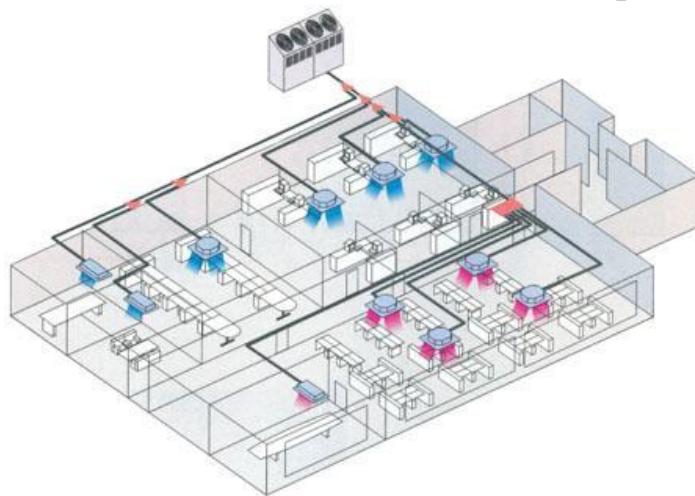


Рисунок 1.3 – Схема многозонального включения вентилятора.

Многозональные вентиляторы дают возможность подключить несколько всасывающих воздуховодов, которые будут обеспечивать воздухом несколько разных зон. В качестве зоны может выступать комната, часть помещения или же просто вентиляционный канал. Такая вентиляция незаменима в тех случаях, когда следует обеспечить вентиляцию нескольких мест от одного общего вентилятора. Такой способ вентиляции помещения даёт возможность уменьшить затраты на оборудование, сократить

количество дорогих фасонных изделий за счёт использования однотипных гибких воздуховодов, а также обеспечивает максимальную оптимизацию сети воздуховодов.

1.2.2. Канальные вентиляторы (прямоточный)



Рисунок 1.4 – Канальное исполнение осевого вентилятора

Такие вентиляторы монтируются в одном корпусе на одном валу с электродвигателем с дополнительной виброизоляцией прокладками. Используются для установки в вентиляционный канал прямоугольного или круглого сечения. Вентилятор может быть одностороннего или двухстороннего всасывания с лопатками, загнутыми как назад, так и вперёд, может быть осевым, радиальным или же многолопастным. Корпус таких вентиляторов выполняется, как правило, из гальванической стали или специального пластика, а также корпус может быть смешанным. Вентиляторы обладают небольшими размерами и устанавливаются по большей части непосредственно в сети воздуховодов, встраиваются в канальные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Такие вентиляторы обычно прикрываются подшивным потолком или же монтируются в специальные вертикальные шкафы. По размещению вентилятора нет конкретных рекомендаций, что позволяет устанавливать их в любом положении (вертикально, горизонтально или наклонно). Компактность таких вентиляторов при значительных показателях расхода воздуха, дают им хорошее преимущество.

1.2.3. Крышные вентиляторы (вытяжной)



Рисунок 1.5 – Крышное исполнение радиального вентилятора

Данный тип вентиляторов устанавливается непосредственно на крышах зданий и обладают высокой долговечностью и стойкостью к атмосферным явлениям за счёт специальной рамы. К ним предъявляются высокие требования к пыле- и влагостойкости, так как они находятся на улице и подвержены всем изменениям погодных условий. Именно поэтому они, как правило, выполняются из высококачественной стали с эпоксидным коррозионным покрытием. Такие вентиляторы могут быть использованы как специальные вентиляторы для использования в высокотемпературных системах, например, для вытяжки из котла или камина, а также для привычных систем общей вентиляции.

2. Устройства плавного пуска и их функции

При использовании системы «асинхронный двигатель-вентилятор» рекомендуется применять устройства плавного пуска.

Наиболее простым и часто используемым способом включения асинхронного двигателя является прямой пуск непосредственным его подключением к сети. Такое включение сопровождается значительным увеличением пускового тока, который может превышать номинальный в несколько раз. Также наблюдаются колебания момента, которые по значению существенно превышают номинальный. Такие скачки тока и момента приводят к большим нагрузкам как на сеть, так и на механизм.

Для ряда механизмов рекомендуется использовать плавное увеличение момента двигателя в процессе разгона или плавное уменьшение в процессе торможения. Чтобы решить эту проблему рекомендуется применять пусковые устройства, которые позволяют избежать бросков тока и момента и снизить нагрузки на сеть и механическую часть двигателя.

Применение устройств плавного пуска позволит:

- 1) избежать пиковых механических нагрузок механизма
- 2) избежать бросков тока при пуске;
- 3) реализовать плавный пуск, без толчков в механизме;
- 4) увеличить коэффициент мощности;
- 5) исключить пики тока при переключении;
- 6) отказаться от контакторов;
- 7) в некоторых случаях, исключить применение гидромuft и муфт скольжения.

Такие устройства позволят использовать пуск с пониженным пусковым моментом, являющимся наиболее благоприятным для приводного механизма (иными словами, осуществить безударный пуск), а также исключить неблагоприятные режимы перегрузки при пуске. Такой пуск обеспечивается при подаче напряжения на двигатель, которое будет увеличиваться в процессе пуска по экспоненциальному закону.

В результате использования устройства плавного пуска будет получено увеличение срока эксплуатации электропривода и установки в целом, а также повышение надежности его работы.

Плавное нарастание скорости, момента и тока при пуске является основной задачей, решаемой при обеспечении плавного пуска. При использовании тиристорного регулятора напряжения плавное нарастание напряжения на двигателе обеспечивает выполнение этой задачи.

Анализ выполняемых функций устройств различных производителей позволяет отметить, что подавляющее большинство устройств реализует следующие основные функции:

- управление пусковым режимом;
- управление режимом останова;
- управление рабочим режимом;
- вспомогательные функции;
- защитные функции;
- интерфейс между устройством и управляющим элементом верхнего уровня;
- интерфейс между устройством и оператором.

Как правило, тиристорные регуляторы напряжения снабжаются функциями защиты. К таким функциям можно отнести:

- защита от короткого замыкания;
- защита при работе в условиях пониженного напряжения на входе ТРН;
- защита при работе в условиях повышенного напряжения на входе ТРН;
- защита от токов перегрузки;
- защита от обрыва фаз;
- защита от невключения шунтирующего контактора (при наличии);
- защита от пробоя силового тиристора;
- защита от тепловой перегрузки;
- защита от несимметрии входного напряжения;
- защита при потере управляемости тиристора.

Применяются они в достаточно большом количестве механизмов, однако наибольший интерес представляют именно вентиляторы. Известно, что вентиляторы обладают большой инерционностью и требуют достаточно большого времени разгона. Прямой пуск такого механизма даёт сильное увеличение нагрузки на сеть и, как следствие, уменьшение напряжения в питающей сети, появляются большие нагрузки в подшипниках и кинематике. При использовании ременных передач может наблюдаться их

проскальзывание. Плавный пуск значительно снижает вероятность возникновения подобных ситуаций.

При пуске вентиляторов нагрузочный момент находится в квадратичной зависимости от частоты вращения ($M \sim n^2$).

Вентиляторы в большинстве случаев имеют большой момент инерции (от 10 до 200 – кратного значения момента инерции двигателя). Аналогичные характеристики имеют воздуходувки, машины с центробежным принципом управления, корабельные приводы, центрифуги и т.д.

3.Выбор и обоснование системы ЭП

Существует множество способов пуска асинхронного электродвигателя, основными из которых являются: прямой пуск, изменение числа пар полюсов, система с преобразователем частоты и система плавного пуска с использованием тиристорного регулятора напряжения.

Прямой пуск двигателя в нашем случае нецелесообразен, так как при прямом включении двигателя в питающую сеть имеются большие скачки токов и отсутствует возможность регулирования скорости.

Изменение числа пар полюсов помогает регулировать скорость исключительно ступенчато и достигается переключением статорной обмотки. Имеются два способа организации такого управления скоростью: в пазах ротора укладываются несколько обмоток, имеющие разное число пар полюсов; использование специальной обмотки, позволяющей получить разное число пар полюсов путем изменения схемы соединения. Данный способ может быть оправдан, так как при переключении сохраняется КПД и коэффициент мощности и установки, однако существенным недостатком являются массогабаритные показатели, а также существенное усложнение конструкции двигателя, сложность коммутационных устройств и как следствие - увеличение стоимости.

Системы с тиристорным регулятором напряжения и с преобразователем частоты могут рассматриваться как одинаково эффективные. В наше время преобразователь частоты считается наиболее

эффективным и перспективным, имеет достаточно небольшие массогабаритные показатели, достаточно высокое значение КПД, а также широкий диапазон регулирования. Однако их существенным недостатком является стоимость

В данном случае система с тиристорным регулятором напряжения имеет явное преимущество, так как крайне эффективно проявляет себя при использовании в установках, которые не требуют большого диапазона регулирования (насосы, вентиляторы), но нуждаются в безударном пуске. Поскольку, как говорилось выше, прямой пуск, особенно мощных АД, приводит к уменьшению напряжения и появлению ударных токов в сети, что негативно сказывается на работе других потребителей электрической энергии и может привести к аварии. ТРН может обеспечить эффективный плавный пуск двигателя, имеет небольшие массогабаритные показатели, а также значительно меньшую стоимость в сравнении с преобразователем частоты. Именно поэтому система ТРН-АД будет принята за основу в данной работе и будет использоваться как устройство плавного пуска.

4. Выбор электрооборудования, расчет параметров элементов и характеристик силовой цепи

4.1. Определение области работы электропривода

Так как данный электропривод является неререверсивным, то область его работы (рисунок 4.1) находится в первом квадранте плоскости координат.

Область длительной работы ограничена максимальной скоростью электропривода $\omega_{двн} = 314$ рад/с и изменением момента полезной нагрузки в зависимости от скорости электропривода.

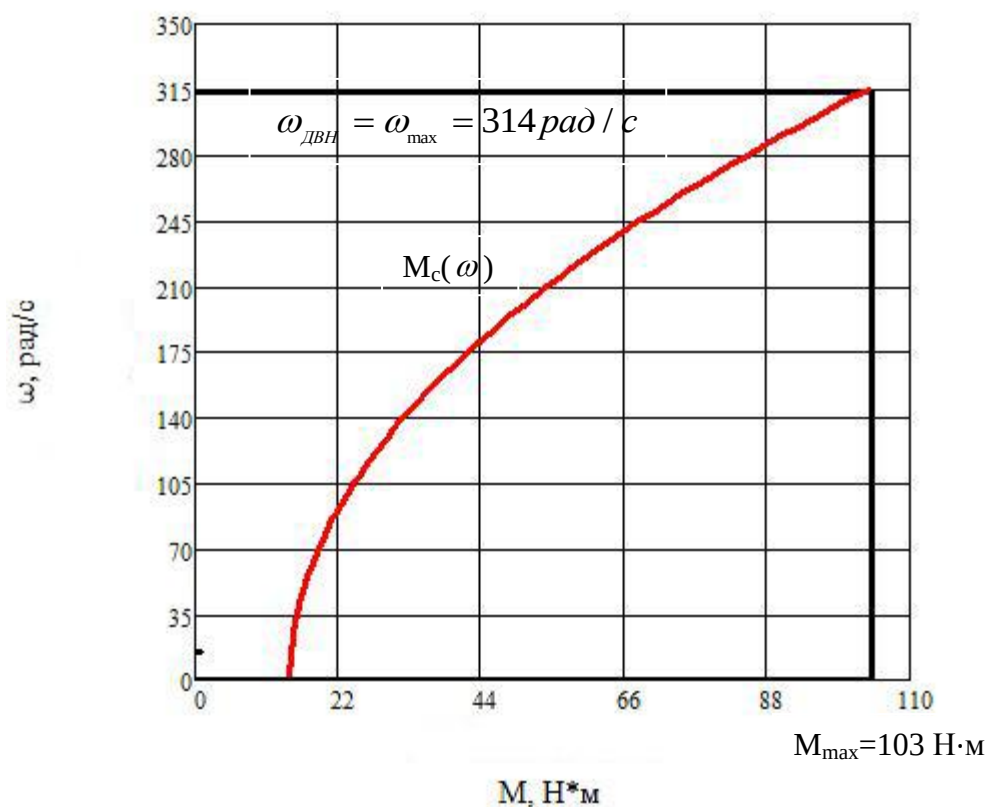


Рисунок 4.1 – Заданная область работы электропривода

4.2. Параметры вентилятора

В таблице 4.1 приведены параметры данного вентилятора[19].

Таблица 4.1 – технические данные вентилятора

Типоразмер вентилятора	Параметры в рабочей зоне		Масса, не более, кг	Виброизоляторы	
	Производ- ность, тыс. м ³ /час	Полное давление, Па		Тип	Кол-во
ВР 120-28 №6,3 1-е исполнение	3.2-10.6	6280-8260	264	ДО41	5

Габаритные и присоединительные размеры данного вентилятора приведены на рисунке 4.2 и в таблице 4.2[19].

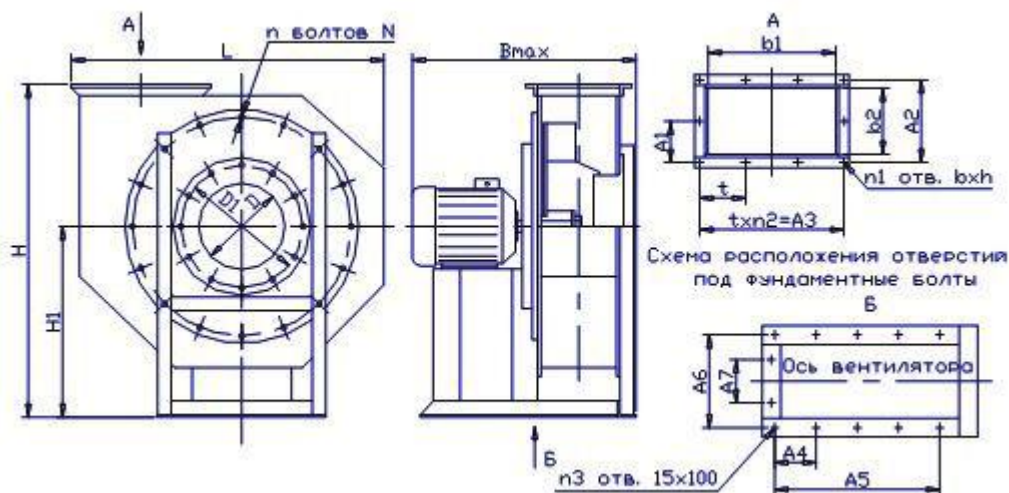


Рисунок 4.2 – Габаритные и присоединительные размеры

Таблица 4.2 – Габаритные и присоединительные размеры вентилятора

№ вентилятора	Размеры, мм											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	b	b1	b2	h	t
6,3	122	244	300	130	581	452	130	12	252	200	16	100
№ вентилятора	Размеры, мм											
	L	B _{max}	H	H1	n	n1	n2	D	D1	N		
6,3	960	920	994	600	12	10	8	250	360	M10		

Вентиляторы центробежные ВР 120-28 применяются в:

- системах кондиционирования воздуха;
- системах вентиляции производственных, общественных и жилых зданий;
- других производственных и санитарных целях.

Вентиляторы ВР 120-28 являются радиальными вентиляторами высокого давления одностороннего всасывания. Количество лопаток рабочего колеса вентилятора ВР 120-28 №6,3 -16 штук. Лопатки загнуты назад.

Вентиляторы серии ВР 120-28 изготовлены из углеродистой стали и применяются для перемещения неагрессивного газа или воздуха с температурой не более 80°C и запыленностью не более 100мг/м3, не содержащего липких и волокнистых веществ.

Рассчитаем объем помещения, которое может обеспечить данный вентилятор, при условии, что кратность воздухообмена равна трем:

Зная производительность вентилятора и кратность воздухообмена, можем рассчитать, помещение какого объема может обеспечить данный вентилятор[21]:

$$V = \frac{Q}{k} = \frac{7 \cdot 10^3 \text{ м}^3 / \text{час}}{3} = 2300 \text{ м}^3;$$

Где k = 3о.е. – кратность воздухообмена, обусловленная особенностями помещения.

Данный тип вентиляторов выпускает ООО «ВЕНТОБОРУДОВАНИЕ-Тверь»[20], которое является производителем вентиляционного и отопительного оборудования для различных отраслей промышленности, строительства и сельского хозяйства. Оборудование этой компании установлено на предприятиях атомной, химической, нефтегазовой, энергетической, машиностроительной, пищевой, деревообрабатывающей и других отраслей промышленности, а также находит применение в гражданской сфере: в образовательных и культурных учреждениях, офисных зданиях и жилых домах.

В составе выбранного вентилятора поставляется асинхронный электродвигатель, представленный в таблице 4.3:

Таблица 4.3 – Краткие данные электродвигателя

Электродвигатель		
Модель	Мощность, кВт	Частота вращения, мин ⁻¹
АИР180М2	30	3000

4.3. Расчет параметров электродвигателя

4.3.1. Технические данные электродвигателя

В таблице 4.4 указан полный список параметров поставляемого в комплекте двигателя.

Таблица 4.4

Типоразмер электродвигателя	P _{2ном} , кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения, о.е.				
		η_n , %	$\cos\varphi_n$	x'_μ	в номинальном режиме работы			
					R' ₁	x' ₁	R' ₂	x' ₂
АИР180М2	30.0	91.5	0.90	3.8	0.030	0.073	0.018	0.11

Окончание таблицы 4.4

Типоразмер электродвигателя	Механическая характеристика					$k_i = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$	$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
	$m_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	$m_M = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	s_n , %	s_k , %		
АИР180М2	2,5	1.9	3	2,5	12.5	7.5	0.07

4.3.2 Определение дополнительных параметров двигателя по справочным техническим данным

Синхронная угловая частота вращения двигателя [16]

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1н}}{z_p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{1} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_n) \cdot \omega_0 = (1 - 0,018) \cdot 314 = 308,348 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{30000}{314} = 97,293 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда:

$$U_{1\phi H} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В};$$

$$I_{1\phi H} = I_{1\text{лн}} = I_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\phi H} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{30000}{3 \cdot 220 \cdot 0,90 \cdot 0,915} = 55,197 \text{ А.}$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = k_{i \text{ дв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 7,5 \cdot 55,197 = 413,967 \text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 3 \cdot 97,293 = 291,878 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 2,5 \cdot 243,232 = 176,56 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по параметрам схемы замещения в относительных единицах

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,03 \cdot \frac{220}{55,197} = 0,12 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = X'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,516 \cdot \frac{220}{55,197} = 0,291 \text{ Ом.}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{0,516}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 9,266 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R'_2 = R''_2 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,026 \cdot \frac{220}{55,197} = 0,076 \text{ Ом.}$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X'_{2\sigma} = X''_{2\sigma} \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,16 \cdot \frac{220}{55,197} = 0,430 \text{ Ом.}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,934}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 1,396 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме

$$X_{KH} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} = 0,291 + 0,430 = 0,729 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_{\mu} = X'_{\mu} \cdot \frac{U_{1\Phi H}}{I_{1\Phi H}} = 2,9 \cdot \frac{220}{55,197} = 11,559 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{11,559}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,037 \text{ Гн.}$$

Ток холостого тока двигателя

$$I_0 = \frac{E_1}{X_{\mu}} = \frac{212,536}{36,52} = 18,388 \text{ А,}$$

Где ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем) в номинально режиме

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\Phi H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1\Phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\Phi H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1\Phi H} \cdot X_{1\sigma})^2} = \\ == 212,536 \text{ В.}$$

Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя:

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{KH}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = \\ = 101,04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{(L_m + L'_{2\sigma})} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{фн}} - I_0} =$$

$$= 101,819 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\text{Где } \Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 18,388 \cdot 0,037 = 0,957 \text{ Вб.}$$

Т.к. условия $M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1M_{\text{дв.н}}$; $97,293 < 101,04 \leq 107,022$;

$M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}}^{**}$; $101,04 \approx 101,819$ выполняется, то расчетные параметры двигателя адекватны.

4.3.3. Расчет естественной механической характеристики

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

$$M_{\text{эм}}(\omega) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot X_\mu} \right)^2 \right]},$$

где $M_{\text{эм}}$ - электромагнитный момент двигателя, Н · м; $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя:

-Значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении $s_{\text{н}}$

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

$$101,04 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

-Значение критического скольжения

$$s_{\text{к}} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0,076 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,12}{11,559} \right)^2}{0,12^2 + 0,729^2}} = 0,102$$

-Значение электромагнитного критического момента при критическом скольжении

$$M_{эм}(s_k) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2}{\omega_0 \cdot 2 \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \cdot 1 + \left(\frac{R_1'}{X_{\mu}} \right)^2} \right]} =$$

$$= 269,232 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

На рис.4.3 представлена естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ для асинхронного двигателя.

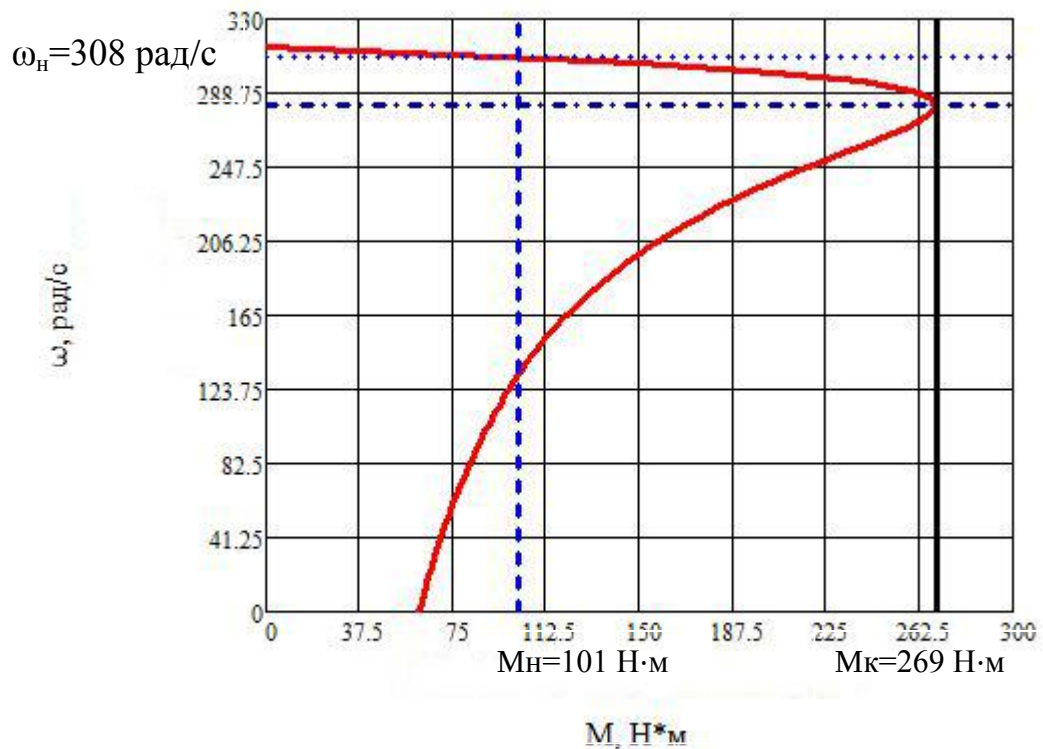


Рисунок 4.3 - Естественная механическая характеристика АД

Таблица 4.5

M,	61.	66.	72.3	79.3	87.7	98.2	111.3	128.	150.	181.	222.	265.
N* _M	4	4	1	2	9	3	7	3	7	2	2	0
ω, рад/с	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275

Окончание таблицы 4.5

M, Н*м	265.0	268.8	267.9	259.5	239.9	204.6	149.7	73.6	-19.623
$\omega, \text{рад}$ /с	275	280	285	290	295	300	305	310	315

Рассчитаем нагрузку, которую будет обеспечивать данный вентилятор. Уравнение, описывающее вентиляторную нагрузку, выглядит следующим образом:

$$M(\omega) = M_0 + k \cdot \omega^2$$

Значение M_0 , как правило, принимается равным примерно $0.15 \cdot M_n$:

$$M_0 = 0.15 \cdot M_n = 0.15 \cdot 101 = 14.592 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Также нужно знать значение коэффициента k , который можно найти из уравнения вентиляторной нагрузки при задании номинального значения момента и скорости электродвигателя:

$$k = \frac{M_n - M_0}{\omega_n^2} = \frac{101 - 14.592}{308.343^2} = 8,667 \cdot 10^{-4}$$

Следовательно, уравнение вентиляторной нагрузки электродвигателя примет следующий вид:

$$M(\omega) = 14,592 + 8,667 \cdot 10^{-4} \cdot \omega^2$$

Механическая характеристика с вентиляторной нагрузкой на валу электродвигателя представлена на рисунке 4.4:

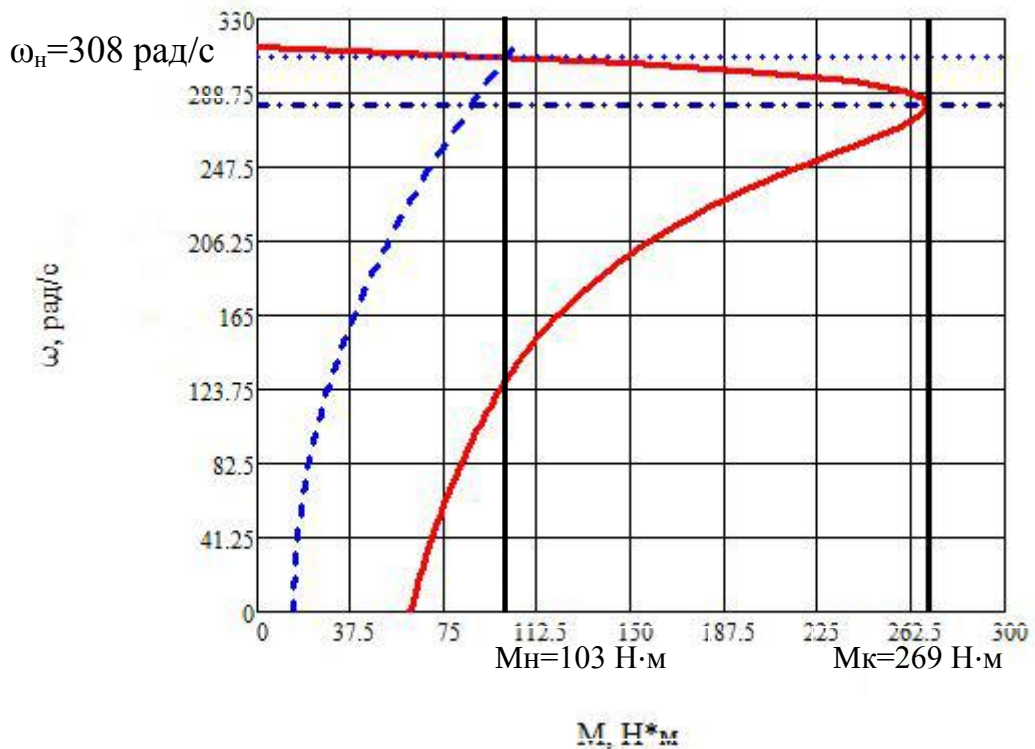


Рисунок 4.4 - Естественная механическая характеристика АД с вентиляторной нагрузкой на валу

На основании полученной характеристики можно сделать вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

4.3.4. Расчет естественных электромеханических характеристик

Естественные электромеханические характеристики

$I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{1H} = 50$ Гц рассчитывается по выражению

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

Где $I_1 = I_\phi$ – действующее значение фазного тока двигателя, А;

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

-Приведенный к обмотке статора ток ротора; $s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_\mu + X_{1\sigma})^2}} = \frac{220}{\sqrt{0,12^2 + (11,559 + 0,291)^2}} = 18,565 \text{ A},$$

-действующее значение тока холостого хода;

$$\sin \varphi_2(\omega) = \frac{X_{\text{кн}}}{\sqrt{X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R'_2}{\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

На рис.4.5 красной линией представлена зависимость $\omega = f(I'_2)$, а синей линией зависимость $\omega = f(I_1)$.

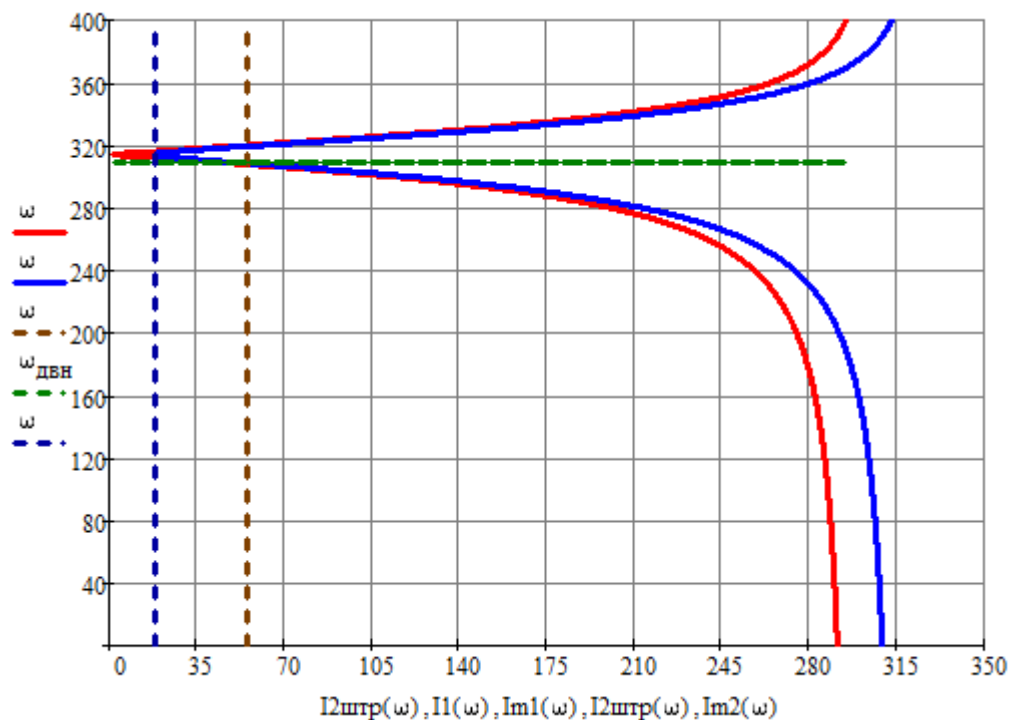


Рисунок 4.5 - Естественные электромеханические характеристики АД

Таблица 4.6

ω, рад /с	0	20	40	60	80	100	120	140	160
I2'	290.8	290.2	289.5	288.6	287.5	286.2	284.5	282.3	279.3
I1	308.7	308.1	307.3	306.4	305.3	303.9	302.1	299.8	296.6

Окончание таблицы 4.6

ω , рад /с	180	200	220	240	260	280	300	320
I_2'	275.0	268.6	258.1	239.2	200.6	112.3	56.2	203.9
I_1	292.0	285.2	274.1	254.2	213.4	120.4	62.4	216.8

4.4. Выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого электропривода

Регулирование частоты вращения двигателя будем осуществлять изменением напряжения, подводимого к обмоткам статора с помощью тиристорного регулятора напряжения.

Возможность регулирования частоты вращения АД с помощью изменения напряжения следует из анализа математического описания механической характеристики АД, согласно которому путем регулирования фазного напряжения можно изменять критический момент АД и получать тем самым искусственные характеристики. Критическое скольжение АД и его синхронная скорость не зависят от напряжения и остаются неизменными при его регулировании. При этом обмотки статора двигателя могут иметь любую схему соединения. Схема даёт возможность регулировать напряжение, подводимое к двигателю, что позволяет получить ряд регулировочных характеристик, реализовать пусковые, тормозные и регулировочные режимы АД в разомкнутых и замкнутых системах управления. Величину переменного напряжения, приложенного к двигателю, регулируем, используя фазовое управление. Фазовое управление, означающее изменение угла открытия тиристорov α по отношению к синусоиде питающего напряжения, представляет собой разновидность параметрического, в данном случае, амплитудного управления.

Данный преобразователь нашёл своё применение во многих областях промышленности, среди которых: насосы, вентиляторы, центрифуги. Использование тиристорного регулятора напряжения дают возможность

значительно снизить пусковые токи и обеспечить плавность пуска двигателя. Так, например, при использовании в центробежных насосах, плавный пуск позволяет избежать гидроударов в трубах. При использовании его в вентиляторах, дробилках, центрифугах, пропадают ударные рывки и удары в механической части за счёт ограничения пускового момента. Если не ограничивать пиковые токи во время пуска асинхронного двигателя, то это может привести к появлению избыточных тепловых потерь, которые, в свою очередь, со временем приводят к сильному износу изоляции, и соответственно частому выходу двигателя в ремонт. При многократных повторяющихся пусках, без использования ограничений на пусковой ток, наблюдаются тепловые перегрузки двигателя. Иными словами, использование тиристорного регулятора напряжения позволяет избежать всех вышеперечисленных проблем.

Одним из главных факторов, ограничивающих применение ТРН, является нагрев обмоток при работе на пониженном напряжении, так как момент двигателя с уменьшением напряжения двигателя резко уменьшается и, следовательно, снижается перегрузочная способность АД.

Однако при необходимости, эту проблему можно решить дополнительным внешним охлаждением асинхронного двигателя. Из стержневой обмотки тепловые потери выносятся в зону усиленного охлаждения. Уменьшение нагрева обмоток АД осуществляется радиатором-вентилятором, а также независимым вентилятором, который включен постоянно и скорость которого не зависит от скорости вращения двигателя. При работе на низких скоростях будет обеспечиваться необходимый воздушный поток, и двигатель не будет перегреваться.

Однако, стоит помнить, что ТРН не способен обеспечить устойчивое вращение на малых скоростях, поэтому для регулирования скорости в больших диапазонах необходимо вводить обратную связь по скорости для обеспечения жестких характеристик на всех участках работы, но это вносит усложнения в систему управления и, соответственно, существенное

удорожание всей системы в целом, поэтому наиболее эффективным является использование регулятора напряжения в качестве устройства плавного пуска. При таком использовании мы получаем эффективное использование асинхронного двигателя и получаем значительное уменьшение стоимости системы в целом.

К тому же преимуществом ТРН могут являться надёжность и низкие затраты на ремонт и обслуживание и возможность проводить ремонт сразу же на месте. Так как в большинстве случаев они изготавливаются так, чтобы при выходе какого-либо тиристора из строя его можно было оперативно заменить и продолжить работу. Это также достаточно существенное преимущество.

Так как в работе рассматривается приточная вентиляция, то нет необходимости в изменении направления вращения электродвигателя, следовательно, будет применяться нереверсивная схема тиристорного регулятора напряжения.

Силовая цепь асинхронного нереверсивного тиристорного электропривода представлена на рисунке 4.6[22].

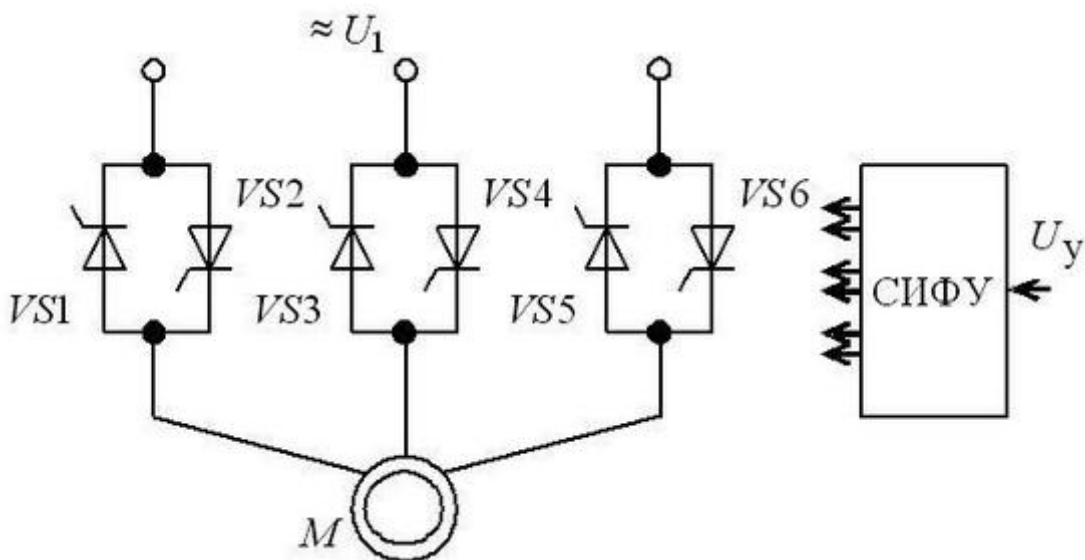


Рисунок 4.6 - Нереверсивная схема управления тиристорным электроприводом

4.5. Расчет и выбор основных силовых элементов системы регулируемого электропривода

Выбор тиристоров для схемы тиристорного регулятора напряжения осуществляется по следующим параметрам:

Максимально допустимое напряжение на тиристоре:

$$U_M = 2,32 \cdot U_\phi = 2,32 \cdot 220 = 510,4 \text{ В}$$

Тиристор должен выдерживать пусковой ток:

$$I_{1\text{макс}} = k_{i\text{дв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 7,5 \cdot 55,197 = 413,967 \text{ А.}$$

На основании этих расчетов выбираем тиристоры серии T153-600-16 (рисунок 4.7)[17].

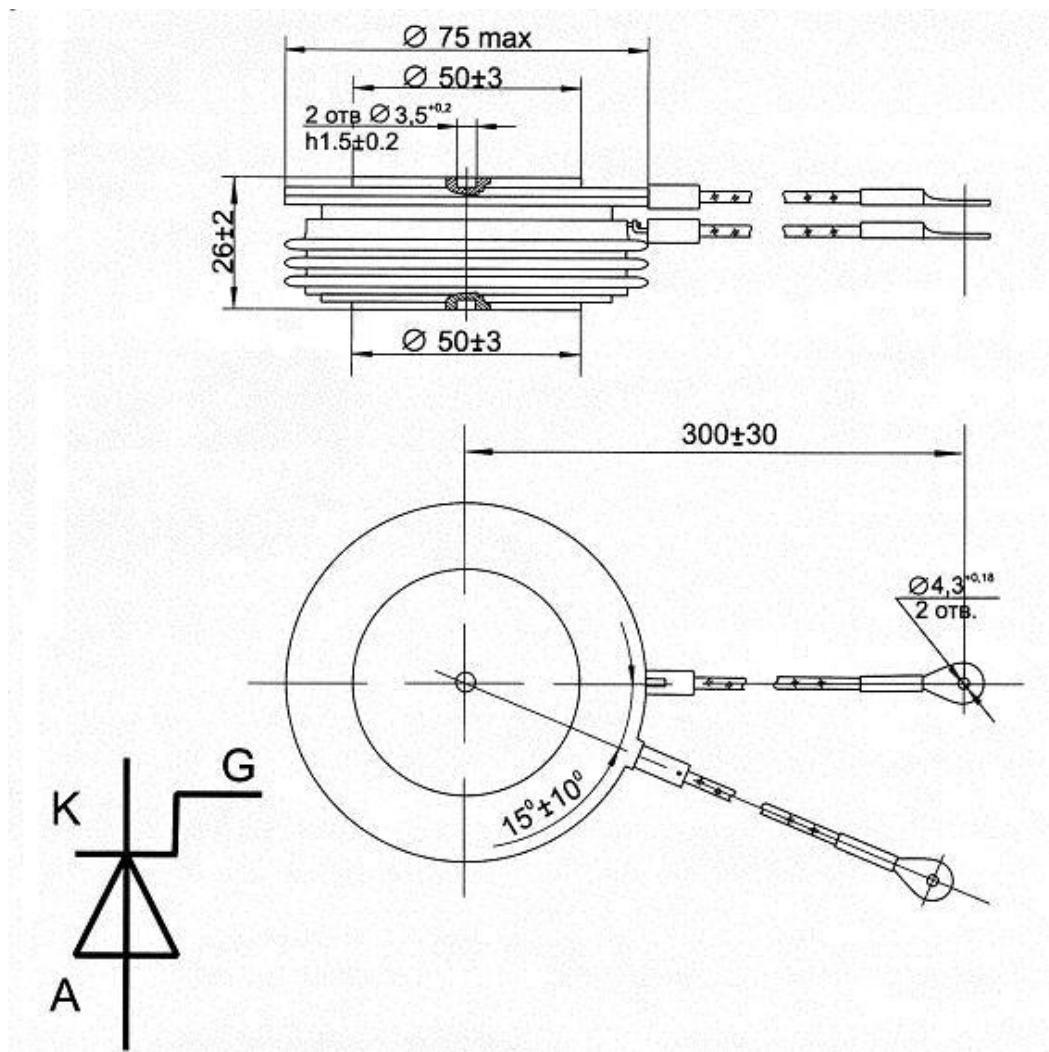


Рис. 4.7 Тиристор T153-600-16

Основные особенности:

- Герметичные металлокерамические корпуса
- Прижимные внутренние контактные соединения, обеспечивающие высокую стойкость к циклическим нагрузкам
- Соответствие международным стандартам
- Высокое повторяющееся импульсное обратное напряжение (U_{drm}) и повторяющееся импульсное напряжение в закрытом состоянии (U_{rgm})
- Низкие потери в открытом состоянии

Области применения:

- Полностью управляемые и полууправляемые выпрямительные мосты
- Управление двигателями постоянного тока
- Регуляторы переменного тока (например, для контроля температуры)

Параметры тиристора:

- Таблеточное исполнение, на ток 800А, класс по напряжению - 16 (повторяющееся импульсное обратное напряжение 1600В)
- Средний прямой ток - 600 А
- Ударный прямой ток - 20000 А
- Повторяющийся импульсный обратный ток - 50 мА
- Импульсное напряжение в открытом состоянии - 1,9 В
- Отпирающее постоянное напряжение управления - 3,5 В
- Отпирающий постоянный ток управления - 300 мА
- Критическая скорость нарастания тока в открытом состоянии - 200 А/мкс
- Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии - 200 - 1600 В/мкс
- Время выключения - 160 250 500 мкс
- Тиристоры Т143-400 не нормируются по времени включения
- Температура перехода - -60 ... +125 град С

- Тепловое сопротивление переход – корпус - 0,024 град/Вт
- Масса тиристора - 0,66 кг
- Рекомендуемые охладители - O153, 0253, SS14, SS14BL

Выбираем охладитель O153 (рисунок 4.8), характеристики которого приведены ниже:

- Охладитель воздушной системы охлаждения O153
- Габаритные размеры - 170x150x176 мм (без токовода), 230x150x176 мм (с тоководом)
- Масса - 5,200 кг (без токовода), 6,000 кг (с тоководом)
- Диаметр контактной площадки - 55 мм
- Мощность рассеивания при естественном охлаждении - 220 Вт
- Тепловое сопротивление при естественном охлаждении - 0,280 град/Вт
- Тепловое сопротивление при скорости воздушного потока 6 м/с - 0,075 град/Вт
- Перепад давления при скорости воздушного потока 6 м/с - 30 Па

Габаритные размеры охладителя O153 приведены на рисунке 4.8

5) эффект вытеснения токов в проводниках ротора пренебрежимо мал.

Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат представлена на рисунке 5.1.

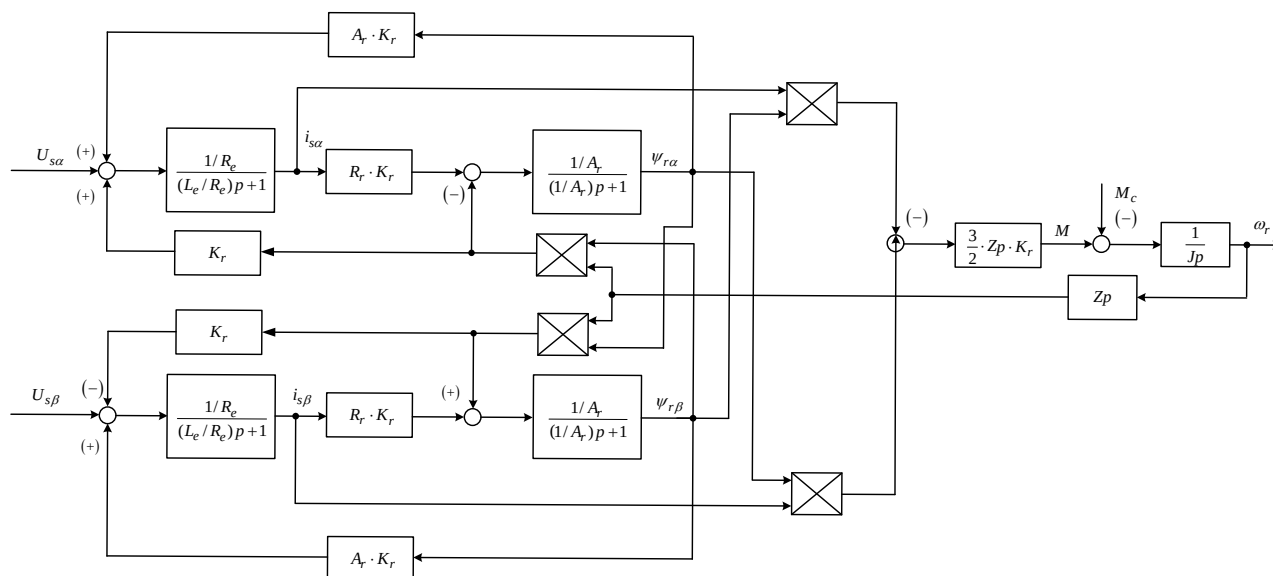


Рисунок 5.1 – Структурная схема модели асинхронного двигателя в неподвижной системе координат

Расчёт параметров структурных схем АД. Параметры двигателя приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.1.

Типоразмер электродви- гателя	Р _{2ном} , кВт	Энергетические показатели		Параметры схемы замещения, о.е.				
		η _н , %	cos φ _н	x' _μ	в номинальном режиме работы			
					R' ₁	x' ₁	R' ₂	x' ₂
АИР180М2	30.0	91.5	0.90	3.8	0.030	0.073	0.018	0.11

Окончание таблицы 5.1

Типоразмер электродвигат еля	Механическая характеристика					$k_i = \frac{I_{н\text{уск}}}{I_n}$	$J_{\text{дв}}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
	$m_n = \frac{M_{н\text{уск}}}{M_n}$	$m_M = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$s_n, \%$	$s_k, \%$		
АИР180М2	2,5	1.9	3	2,5	12.5	7.5	0.07

Произведём расчет параметров, необходимых для построения структурной схемы []

Соотношение для расчета критического скольжения (в первом приближении принимаем коэффициент $\beta=1$):

$$s_k = s_n \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - (1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta(m_k - 1))}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta(m_k - 1)} = 0.162$$

Ряд промежуточных коэффициентов для определения внутренних параметров двигателя:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_n} = 1.017$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot U^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot m_k \cdot P} = 0.773$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2 = \frac{A_1}{(\beta + \frac{1}{s_k}) \cdot C_1} = 0.106$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 0.108$$

Параметр γ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = 6.076$$

Сопротивление короткого замыкания:

$$X_{kn} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 4.387$$

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X_2 = \frac{0.58 \cdot X_{kn}}{C_1} = 0.374$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_1 = 0.42 \cdot X_{kn} = 0.276$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_m = \sqrt{(U \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_n)^2 + (U \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - X_1 \cdot I_n)^2} = 208.3$$

Индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = 14.448$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{\sigma 1} = \frac{X_1}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0.276}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 5.206 \cdot 10^{-3}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенная к статорной:

$$L_{\sigma 2} = \frac{X_2}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0.374}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1.191 \cdot 10^{-3}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\sigma 2} = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{14.448}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0.046$$

Полная индуктивность цепи статора:

$$L_1 = L_{\sigma 1} + L_m = 0.046$$

Полная индуктивность цепи ротора:

$$L_2 = L_{\sigma 2} + L_m = 0.047$$

Коэффициенты для расчета динамики двигателя:

$$K_r = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0.046}{0.047} = 0.975$$

$$L_e = L_1 - \frac{L_m^2}{L_2} = 0.046 - \frac{0.046^2}{0.047} = 2.038 \cdot 10^{-3}$$

$$R_e = R_1 - R_2 \cdot K_r^2 = 0.108 - 0.106 \cdot 0.975^2 = 0.209$$

$$A_r = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0.106}{0.047} = 2.25$$

$$K_m = \frac{3}{2} \cdot K_r \cdot z_p = \frac{3}{2} \cdot 0.975 \cdot 1 = 1.462$$

Момент инерции принимаем удвоенному моменту инерции двигателя:

$$J = 2 \cdot J_{\text{дв}} = 2 \cdot 0,07 = 0,14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Переход от трехфазной системы напряжений

$$\begin{cases} U_A(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_B(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t - 120^\circ). \\ U_C(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t + 120^\circ) \end{cases}$$

к неподвижной двухфазной

$$\begin{cases} U_\alpha(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \sin(314 \cdot t) \\ U_\beta(t) = \sqrt{2} \cdot U_{1\phi} \cdot \cos(314 \cdot t) \end{cases}$$

осуществляется с помощью прямого преобразования Кларка:

$$U_\alpha(t) = U_A(t); \quad U_\beta(t) = \frac{U_A(t) + 2 \cdot U_B(t)}{\sqrt{3}}.$$

Модуль и угол поворота вектора потокосцепления рассчитываются по формулам:

$$|\psi_r| = \sqrt{\psi_{r\alpha}^2 + \psi_{r\beta}^2}; \quad \theta_{\psi_r} = \text{arctg} \left(\frac{\psi_{r\beta}}{\psi_{r\alpha}} \right).$$

На основании полученных данных построим структурную схему электропривода [15]:

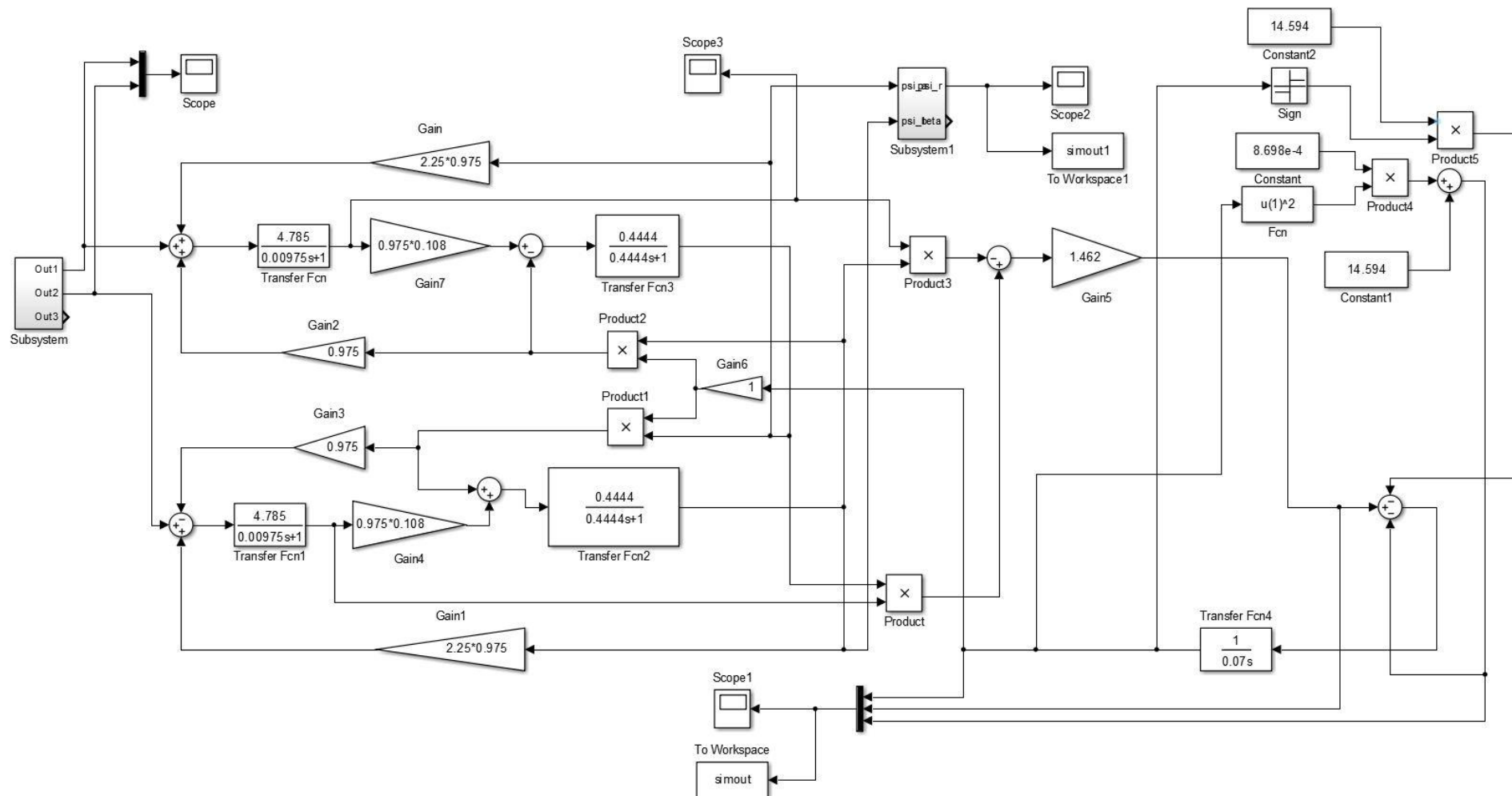


Рисунок 5.2 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

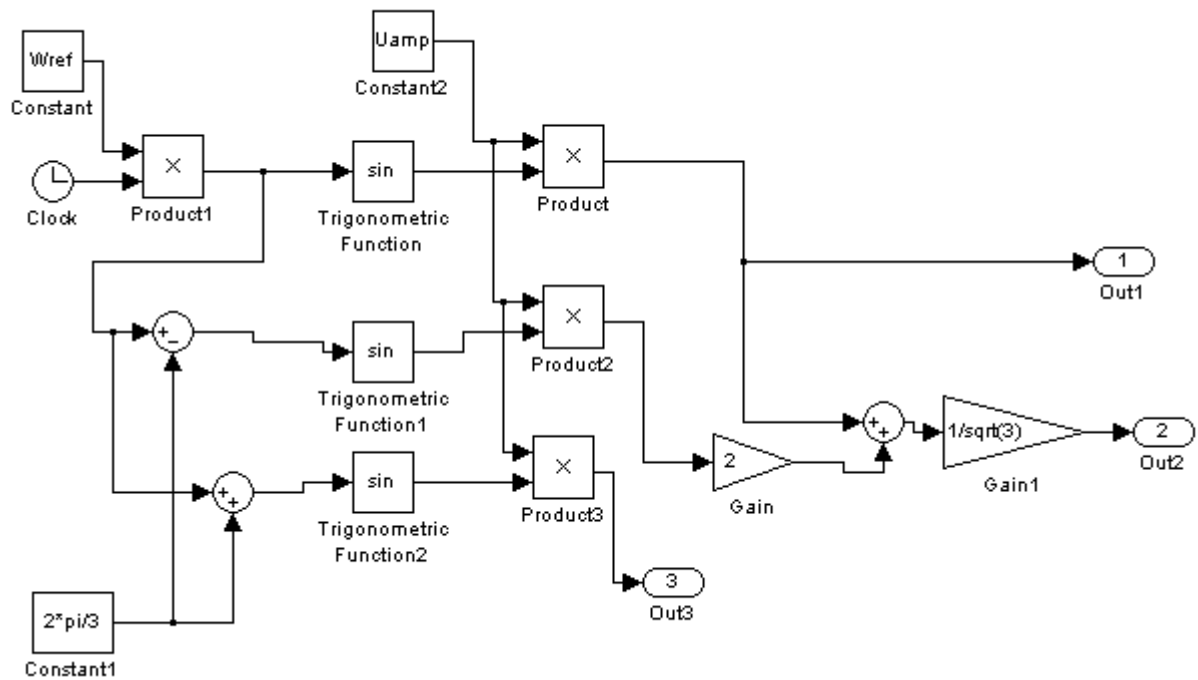


Рисунок 5.3 – Имитационная модель подсистемы, представляющей собой источник синусоидальных напряжений, сдвинутых на 90^0 относительно друг друга

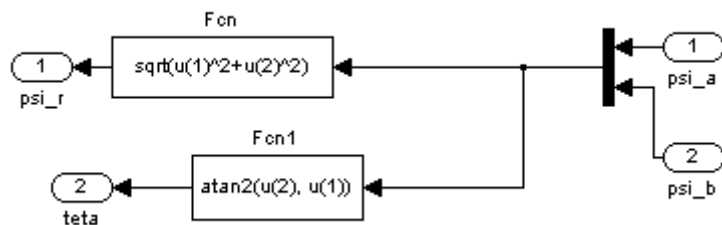


Рисунок 5.4 – Имитационная модель подсистемы «Subsystem 1», рассчитывающей модуль и угол поворота вектора потокосцепления ротора

Переходные процессы для момента двигателя, момента нагрузки, скорости, потокосцепления и тока статора представлены на рисунках 5.5, 5.6, 5.7.

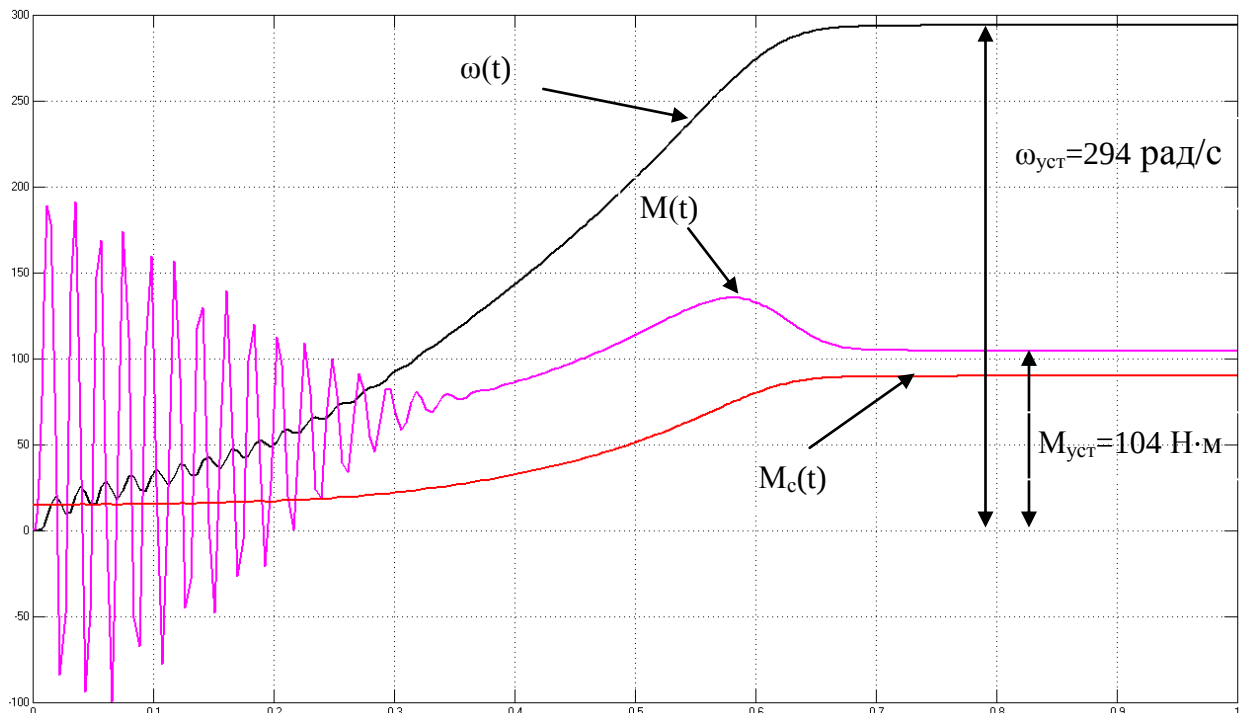


Рисунок 5.5 – Переходные процессы в АД при прямом пуске с вентиляторной нагрузкой

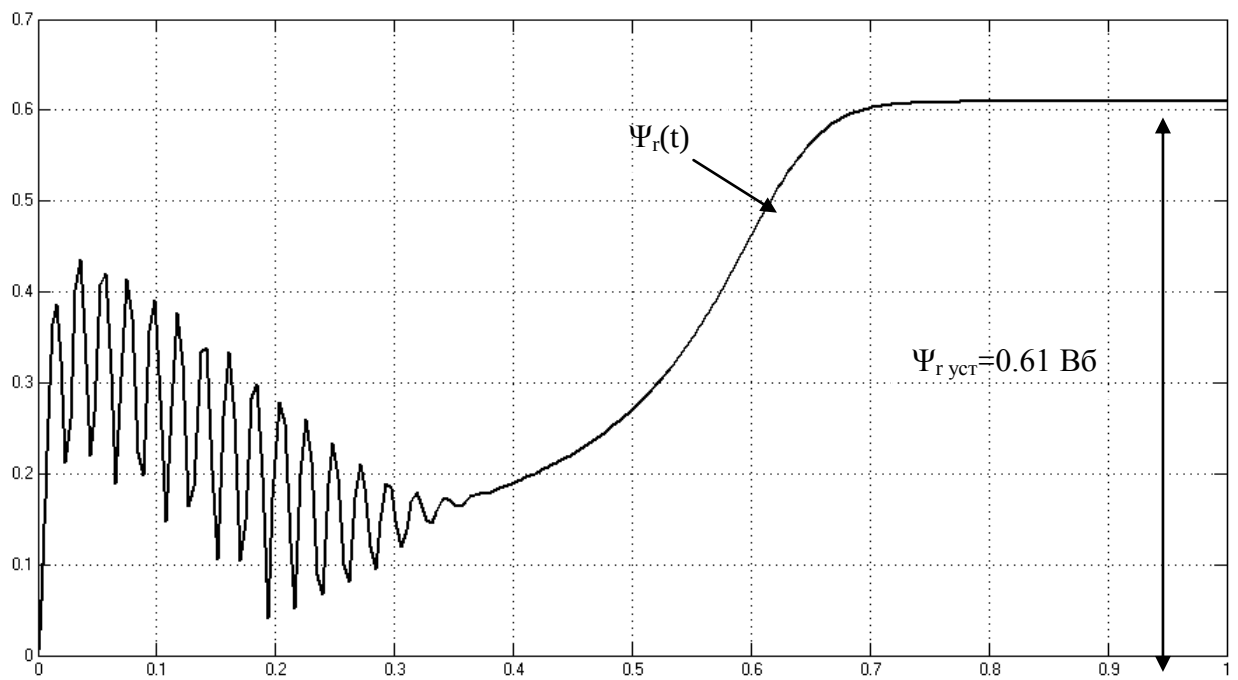


Рисунок 5.6 – Переходный процесс модуля потокосцепления ротора АД при пуске с вентиляторной нагрузкой

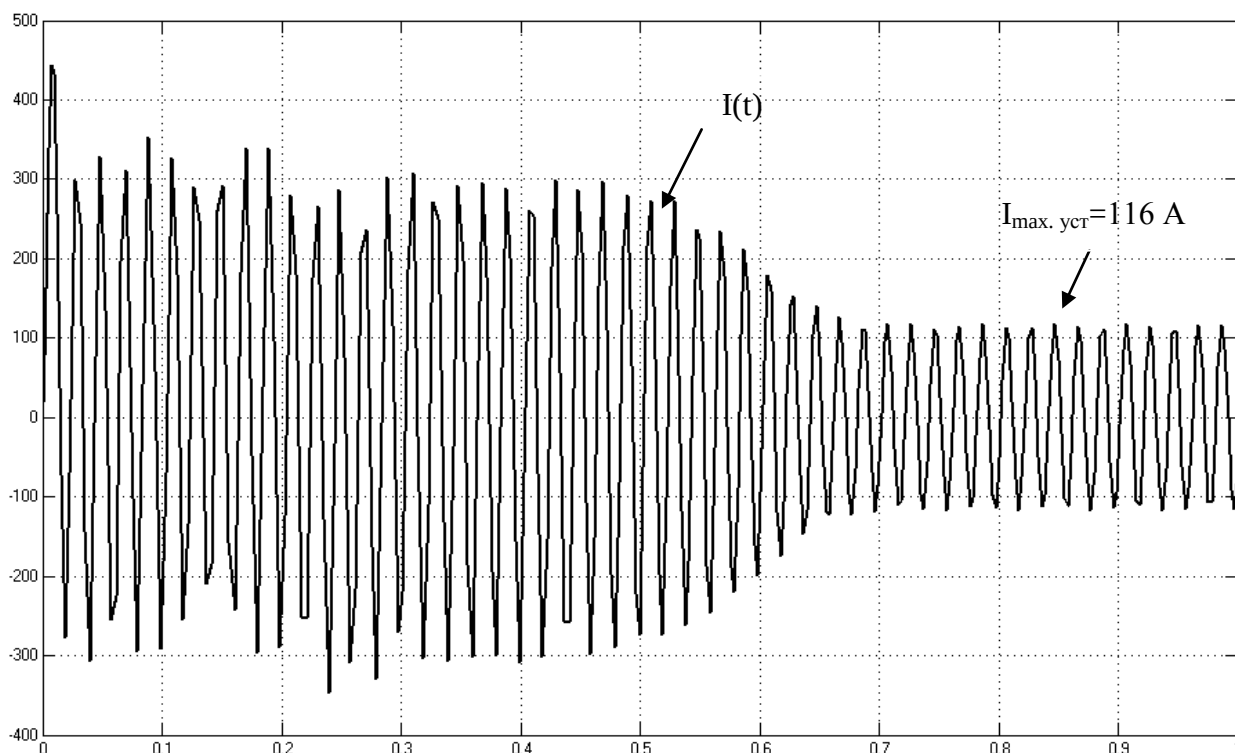


Рисунок 5.7 – Переходный процесс тока статора АД при пуске с вентиляторной нагрузкой

Из графиков переходных процессов можно сделать вывод, что прямой пуск асинхронного двигателя оказывает влияние на механическую часть привода (значительные колебания момента после пуска), а так же на изоляцию обмоток ротора из-за воздействия пусковых токов, которые значительно превышают номинальный.

5.2 Создание имитационной модели с плавный пуском в среде MatlabSimulink

В связи с этим усовершенствуем полученную модель, добавив в неё задатчик интенсивности после источника напряжения. Он обеспечит плавное возрастание задающего воздействия, аналогичное изменению угла управления тиристорами. В остальном схема имитационной модели остается неизменной.

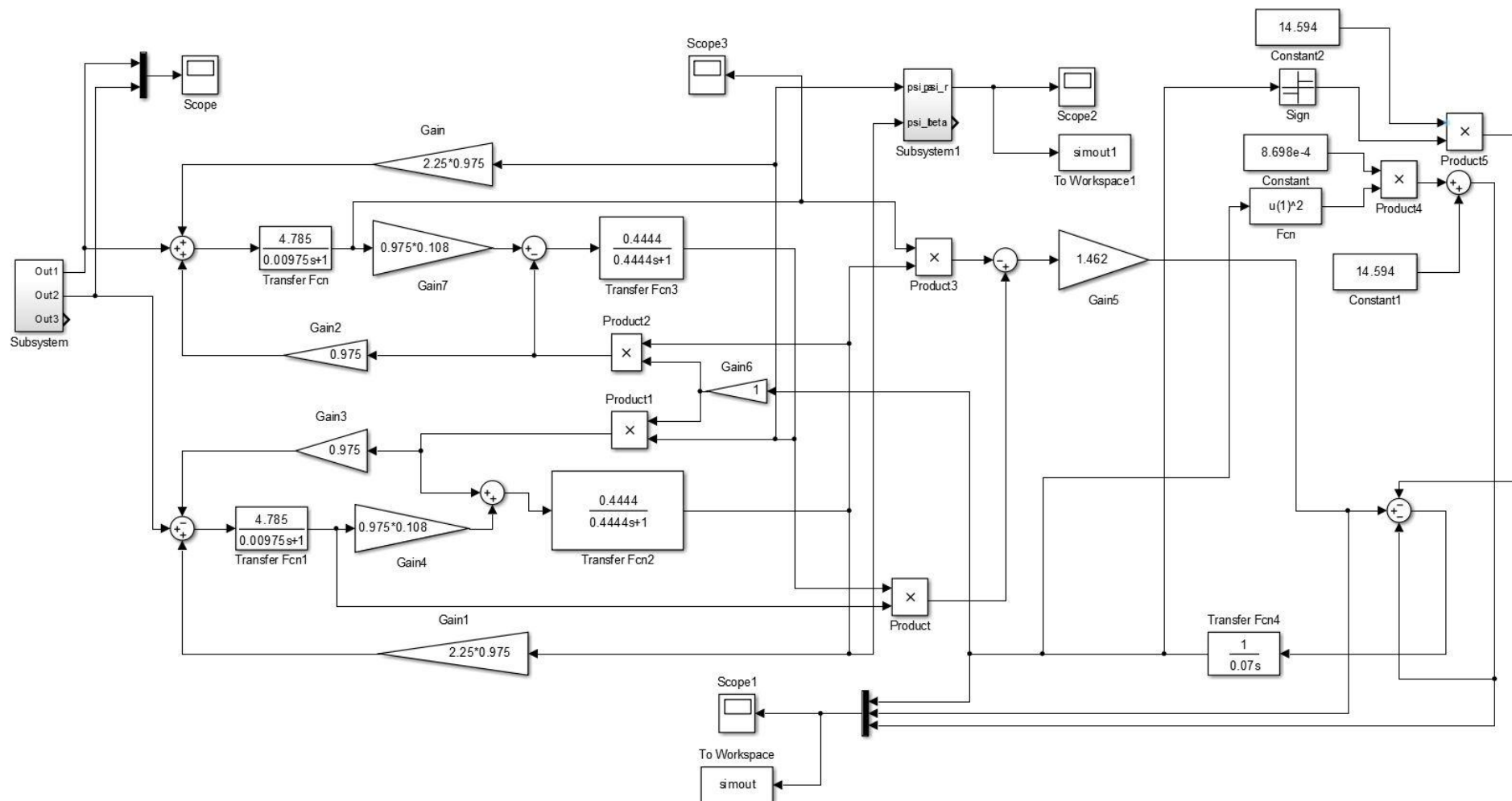


Рисунок 5.8 – Имитационная модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат в программной среде MATLAB Simulink

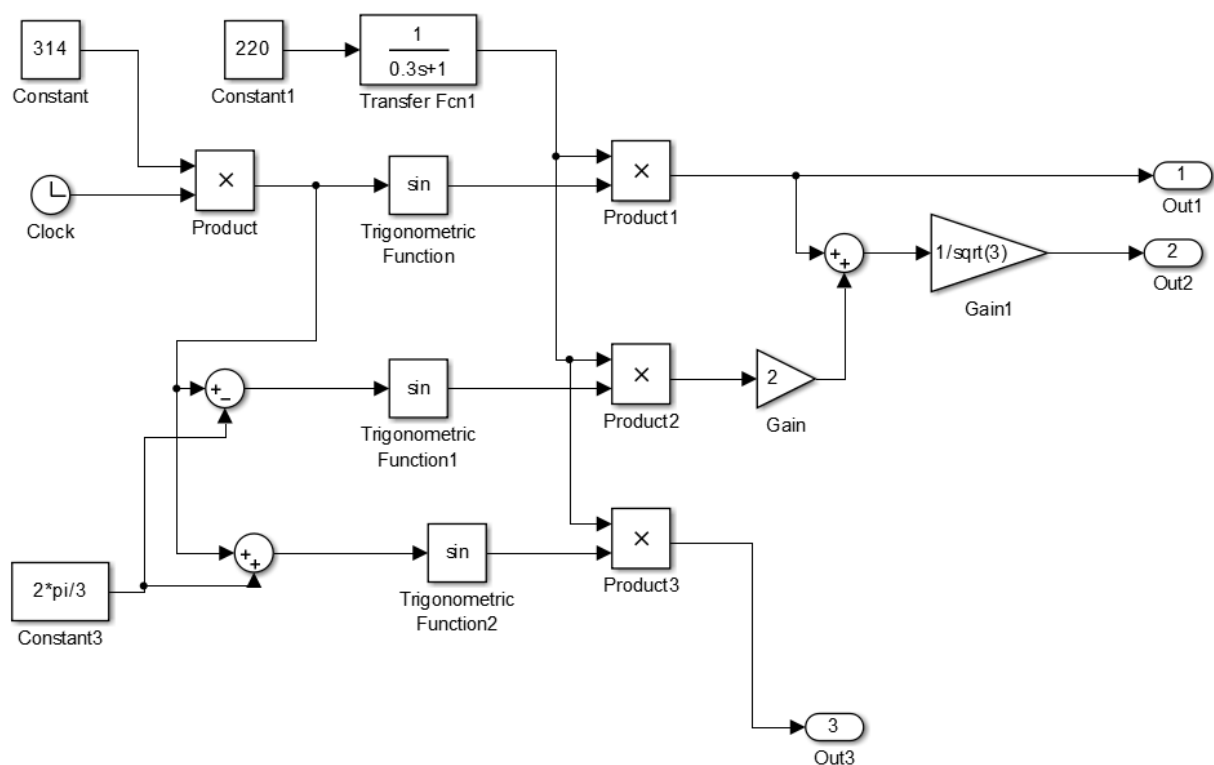


Рисунок 5.9 – Имитационная модель подсистемы, представляющей собой источник синусоидальных напряжений, сдвинутых на 90^0 относительно друг друга, с задатчиком интенсивности

Переходные процессы для момента двигателя, момента нагрузки, скорости, потокосцепления и тока статора представлены на рисунках 5.10, 5.11, 5.12.

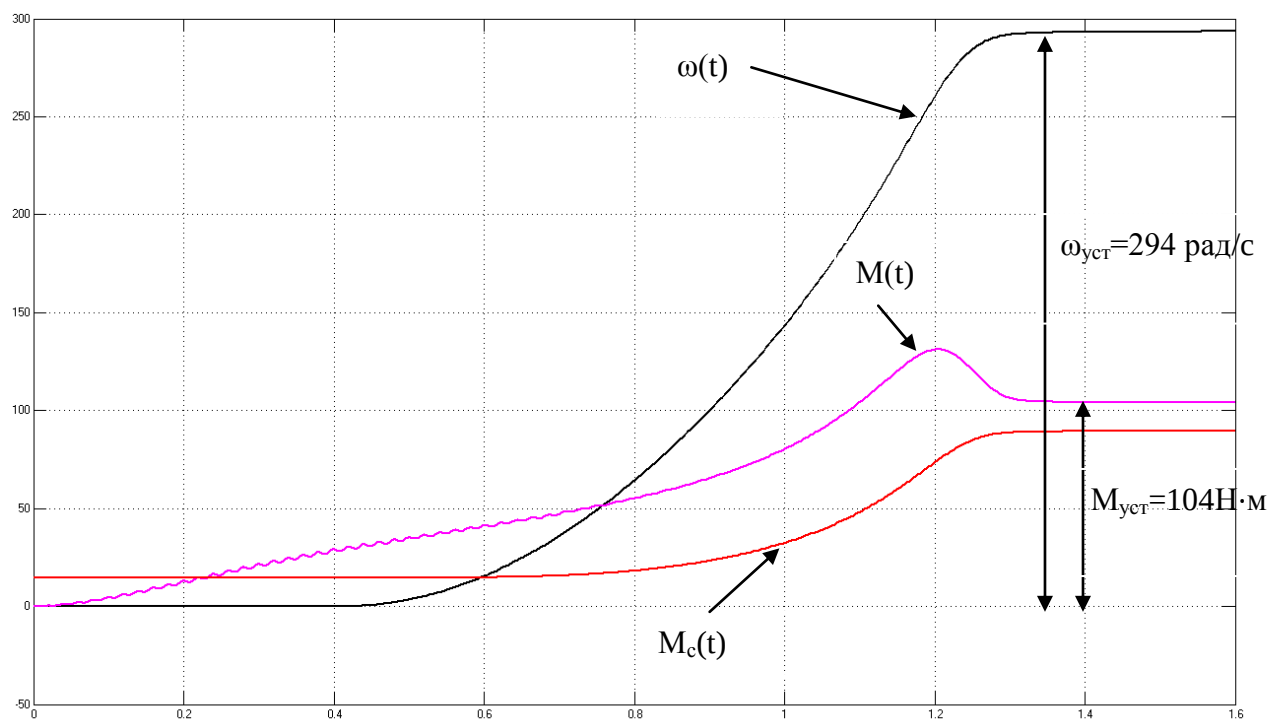


Рисунок 5.10 – Переходные процессы в АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой

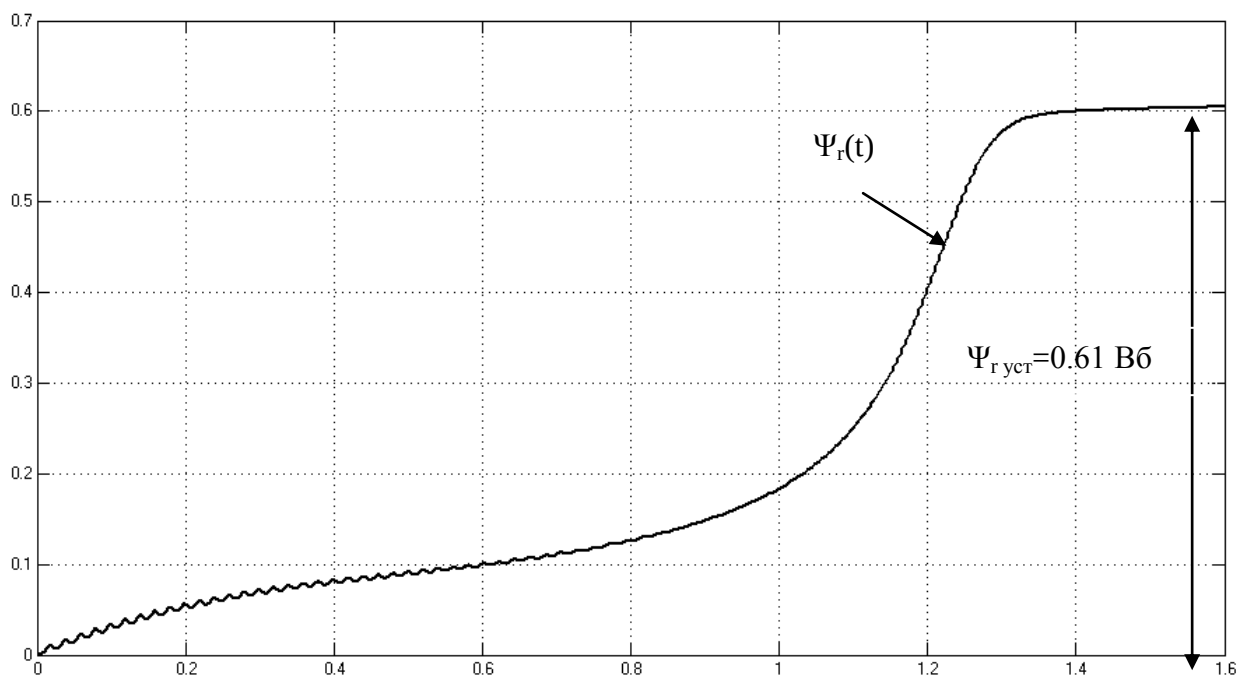


Рисунок 5.11 – Переходный процесс модуля потокосцепления ротора АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой

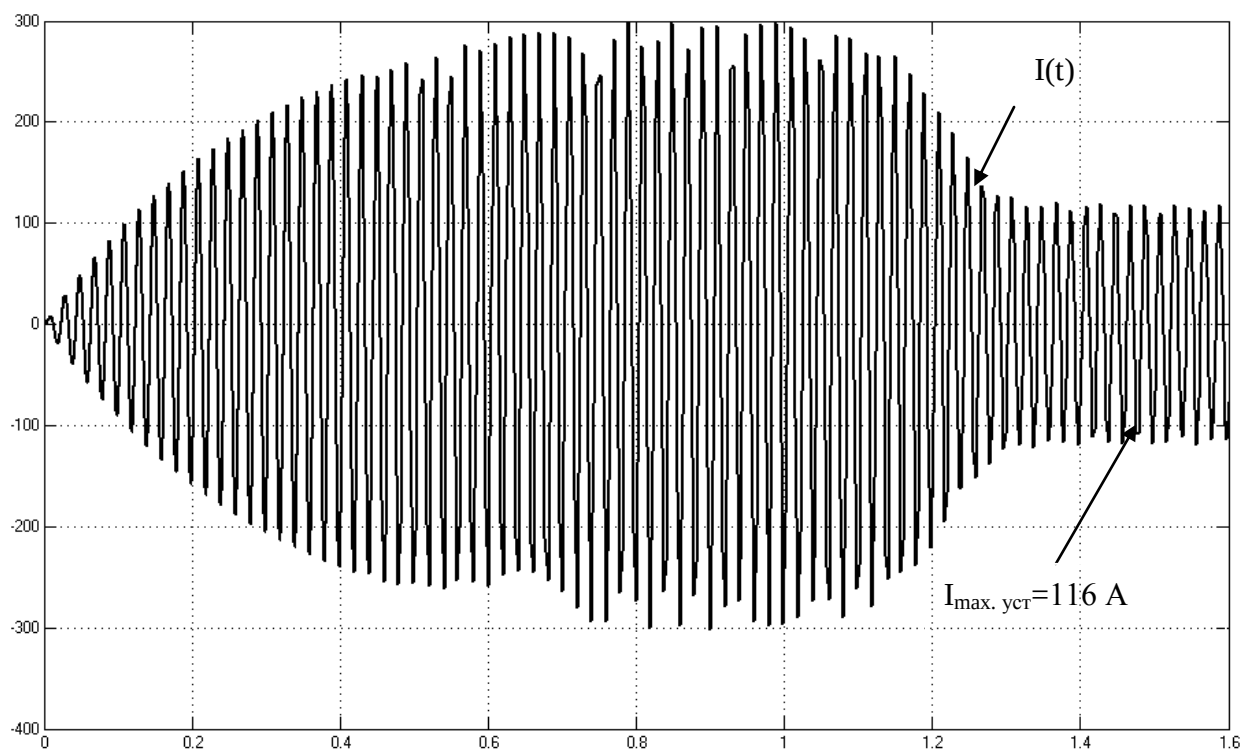


Рисунок 5.12 – Переходный процесс тока статора АД при плавном пуске с вентиляторной нагрузкой

Таким образом, анализируя графики переходных процессов, можно сделать вывод, что плавный пуск двигателя действительно помогает избежать нежелательных колебаний в механической части двигателя, избежать ударов в кинематике и уменьшить воздействие пусковых токов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной выпускной квалификационной работе был рассчитан и спроектирован электропривод приточной вентиляции на базе системы ТРН-АД. На основании заданного вентилятора ВР 120-28 №6,3 и кратности воздухообмена, были рассчитаны объёмы помещения, которое он способен обеспечить.

Впоследствии были определены параметры схемы замещения для двигателя, рассчитаны и построены электромеханическая характеристика, а также механическая характеристика при работе на холостом ходу и при работе на вентиляторную нагрузку. На основании полученных графиков был сделан вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

В дальнейшем были рассчитаны все необходимые параметры для структурной схемы, которая была построена в среде Matlab Simulink 2012b. Сравнивались две схемы: для холостого и для плавного пуска. На основании полученных графиков переходных процессов можно сделать вывод, что устройство плавного пуска, на основе тиристорного регулятора напряжения действительно помогает избежать всех неблагоприятных воздействий на электропривод, возникающих при холостом пуске. Снижается пусковой ток электродвигателя, уменьшаются колебания механического момента в кинематике, что ведет к значительному увеличению срока службы двигателя, повышению его надежности. Также позволяет полностью избежать негативного влияния двигателя на питающую сеть, проявляющуюся в уменьшении напряжения.

Список использованных источников

1. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
2. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
3. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. Обучение работающих безопасности труда
4. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Защитное заземление, зануление
5. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
6. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
7. СНиП П-12-77. Защита от шума
8. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий
9. СНиП 2.04. 05-91. Отопление, вентиляция и кондиционирование
10. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92
11. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования
12. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации. – М.: Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2003
13. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 “Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств.”
14. Федеральная служба по утилизации компьютеров и оргтехники [Электронный ресурс]. URL: <http://rusutilit.ru>. (Дата обращения: 11.05.2016г).

15. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
16. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
17. ООО "Феррол" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ferrol.ru> (Дата обращения: 11.05.2016г)
18. ЛИГРА [Электронный ресурс]. URL: <https://ligra.ru> (Дата обращения: 11.05.2016г)
19. Компания "СВ Урал" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.svural.ru> (Дата обращения: 11.05.2016г)
20. ООО "Вентоборудование-Тверь" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.svural.ru> (Дата обращения: 11.05.2016г)
21. "РФК Климат" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rfclimat.ru> (Дата обращения: 11.05.2016г)
22. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением / Шубенко В.А., Браславский И.Я. – М., "Энергия", 1972