

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 111 _____ с., _____ 52 _____ рис., _____ 18 _____ табл., _____ 31 _____ источников, _____ 1 _____ прил.

Ключевые слова: Запорная трубопроводная арматура; частотно-регулируемый асинхронный электро-привод переменного тока; векторное управление

Объектом исследования является (ются) Частотно-регулируемый электропривод переменного тока

Цель работы – повысить надежность, отказоустойчивость ЭПЗА, ограничения динамических нагрузок электропривода,

В процессе исследования проводились расчеты и выбор приводного двигателя; преобразователя частоты, а также определены параметры силовой цепи

В результате исследования был обоснован выбор способа управления, рассчитаны механические и электромеханические характеристики. Методом имитационного моделирования на ЭВМ исследованы переходные процессы в основных режимах работы

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: запорная арматура состоит из корпуса и подвижной запорной части, изготавливается из высокопрочных коррозионно-стойких материалов, герметичность и простоту управления

Область применения: при устройстве трубопроводных систем (для воды, пара, газа и топлива, различных продуктов переработки химической, пищевой и т. п. промышленности),

Экономическая эффективность/значимость работы: в разделе экономики произведен расчет сметы на пуско-наладочные работы электропривода запорной трубопроводной арматуры

Введение

Современный автоматизированный электропривод любого производственного механизма является сложной системой, электрическая и механическая части которой находятся в постоянном взаимодействии. В общем случае электрическая часть привода содержит ряд накопителей и преобразователей энергии, объединенных электрическими и магнитными связями, а механическая часть имеет более или менее развитую инерционную многомассовую структуру с упругими механическими связями. Управляющие и возмущающие воздействия в такой системе вызывают переходные процессы, связанные с накоплением, отдачей энергии, а также с обменом энергией между ее элементами; переходные процессы, возникающие в динамических режимах, определяют появление динамических нагрузок электропривода. Данная работа посвящена исследованию динамических режимов асинхронного электропривода запорной арматуры.

В первой главе рассматриваются влияние процессов в динамических режимах на электропривод, требования, предъявляемые к электроприводу.

Во второй главе приведена математическая и имитационная модели асинхронного двигателя, проверена ее адекватность, а также сведения о редукторе, используемом в данном электроприводе.

В третьей главе синтезирована система векторного управления асинхронным электродвигателем, проведена адаптация системы управления к нелинейностям.

В четвертой главе исследованы динамические режимы асинхронного электропривода при пуске, набросе нагрузки, торможении.

1 Влияние процессов, возникающих в динамических режимах работы, на элементы электропривода

1.1 Актуальность работы

Современный электропривод арматуры представляет собой сложную электромеханическую систему, составными частями которой являются асинхронный двигатель, редуктор, система управления. Исследования в области электроприводов запорной арматуры (ЭПЗА), комбинированных средств управления запорной арматурой с помощью электродвигателя и вручную является актуальной задачей на сегодняшний день, о чем говорит значительное количество патентов, а также различных научно-исследовательских работ, выполненных в этом направлении. Основной целью является повысить надежность, отказоустойчивость ЭПЗА.

В динамическом режиме при неравномерном набросе нагрузки возможно разрушение основных элементов ЭПЗА. Для этого вводят ограничения динамических нагрузок электропривода.

Ограничение динамических нагрузок допустимыми значениями является одной из наиболее общих и сложных задач, решаемых при проектировании автоматизированного электропривода запорной арматуры. Надежность, долговечность и производительность механизмов непосредственно зависят от надежности и динамических качеств системы электропривода. Поэтому изучение динамических свойств электропривода, анализ влияния его параметров на эти свойства имеют важное практическое значение.[1]

Этот комплекс вопросов особенно важен для электроприводов реверсивных механизмов. Ограничения, накладываемые на электрические и механические параметры, всегда в той или иной степени снижают производительность таких механизмов. Максимальная производительность достижима только при условии эффективного использования допустимых токов, моментов, усилий и ускорений во всех переходных процессах. Так

возникает необходимость формирования оптимальных переходных процессов электропривода, обеспечивающих при наложенных ограничениях максимум производительности механизма.

Оптимальная форма переходных процессов электропривода, как правило, определяется наложенными ограничениями, а ее абсолютно точная реализация не является необходимой. Производительность механизма, достаточно близкая к максимальной, практически обеспечивается формированием процессов, близких к оптимальным. При этом выбор оптимальной структуры системы управления может быть произведен на основании анализа физических особенностей условий работы механизма, а также требований, предъявляемых к нему.

1.2 Общие сведения о запорной арматуре

Запорная арматура предназначена, чтобы перекрывать или переключать поток рабочей среды по трубопроводу в зависимости от условий заданного технологического процесса, обслуживаемого данным трубопроводом. Также запорную арматуру применяют для регулирования параметров потока (расход, давление, скорость) или для дросселирования. Но такой режим нежелателен, так как запорная арматура более подвержена износу.

Согласно статистике, запорная арматура — это наиболее массовый тип трубопроводной арматуры, а ее потребление промышленностью достигает 80% от общего объема используемой трубопроводной арматуры в целом. Область применения запорной арматуры весьма обширна, поскольку она незаменима абсолютно на всех трубопроводах с газообразной и жидкой рабочей средой, а также в трубопроводных системах, транспортирующих самосвязывающиеся жидкости и газ. Арматура этого типа наиболее активно используется в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей, газовой,

атомной, химической, металлургической, фармацевтической, пищевой промышленности и ряде других отраслей.

По конструкции запорная арматура состоит из корпуса и подвижной запорной части. В шаровых кранах роль затвора выполняет шар, по оси которого выполнено отверстие для прохода рабочей среды, а, например, в затворах это поворотный диск, закрепленный на валу в полости корпуса. Перекрытие или открытие потока рабочей среды происходит за счет вращения шара или диска. Для обеспечения герметичности между корпусом и запорной частью применяются эластичные уплотнительные элементы. Изготавливается запорная арматура разборной (ремонтпригодной) или неразборной, с фланцевым, резьбовым, муфтовым и приварным присоединением.

Запорная арматура конструктивно предельно проста, а следовательно, надежна, поэтому в подавляющем большинстве случаев обладает средним сроком списания 25 – 30 лет. Ее конструкция не предусматривает принудительных поворотов потока и имеет минимальное гидравлическое сопротивление рабочей среде при полностью открытом проходе. Изготавливается современная запорная арматура из высокопрочных коррозионно-стойких материалов, способных работать при различных температурах рабочей среды: от нормальных температур (плюс 20-40°C) до низких (минус 45-60°C) и выдерживать давления в сотни кг/см².

К числу преимуществ запорной арматуры следует отнести герметичность и простоту управления. В сумме эти факторы обуславливают быстрое перекрытие или открытие рабочей среды, исключая возникновение аварийных ситуаций и обеспечивая стабильную и эффективную работу любой трубопроводной системы. Помимо ручного привода запорная арматура может оснащаться пневмо-, гидро-, электроприводами, позволяющими автоматизировать процесс управления устройством. Важно отметить, что запорная арматура не требует специального технического обслуживания.

Классификация запорной арматуры осуществляется исходя из соответствия параметрам рабочей среды, таким как физическое состояние, химический состав, давление, температура. Сами изделия различаются по классу герметичности запорной части, диаметру прохода, способу крепления к трубопроводу, а также по составу материала корпуса, что позволяет использовать изделия в тех или иных климатических условиях, в подземном или надземном положении. По конструктивному исполнению запорная арматура бывает: краны, вентили, задвижки, запорные поворотные затворы.[2]

Кран — тип арматуры, у которого запирающий или регулирующий элемент, имеющий форму тела вращения или его части, поворачивается вокруг собственной оси, произвольно расположенной по отношению к направлению потока рабочей среды.

Краны могут представлять собой запорные, регулирующие или распределительные устройства и предназначены для работы с газообразными и жидкими средами, в том числе вязкими и загрязнёнными. Они используются на магистральных газопроводах и нефтепроводах, в системах городского газоснабжения, на резервуарах, котлах и в других областях.[3]

Запорный клапан (вентиль) — запорная арматура, конструктивно выполненная в виде клапана, то есть её запирающий элемент перемещается параллельно оси потока рабочей среды. Как и другие виды запорной арматуры, запорные клапаны применяются для полного перекрытия своего проходного сечения, а следовательно потока рабочей среды; то есть запирающий элемент, которым в запорном клапане чаще всего является золотник, в процессе эксплуатации находится в крайних положениях «открыто» или «закрыто». Для регулирования расхода среды путём изменения проходного сечения успешно применяются регулирующие клапаны, также существуют и запорно-регулирующие клапаны, совмещающие эти функции.

Следует заметить, что до 1982 года клапаны, в которых затвор перемещается при помощи резьбовой пары шпindel — ходовая гайка, назывались вентилями, однако это наименование было упразднено и сейчас клапаном называют и арматуру с резьбовым шпинделем (передающим крутящий момент от привода), и с гладким штоком (передающим поступательное усилие от привода). Клапаны вентильного типа управляются вручную или электроприводом, а клапаны с гладким штоком — гидро-, пневмо- или электромагнитным приводом. Запорные клапаны с быстродействующими поршневыми пневматическими приводами входят в состав защитной арматуры и носят название отсечные.

Клапаны широко распространены как запорная арматура, что объясняется возможностью обеспечения хорошей герметизации в запорном органе при сравнительной простоте конструкции. Клапаны применяются для жидких и газообразных сред с широким диапазоном рабочих параметров: давления — от вакуума 0,658 Па до 250 МПа, температуры — от минус 200 до плюс 600 °С. Клапаны обычно используются на трубопроводах относительно небольших диаметров, так как в случае больших размеров приходится иметь дело с существенным возрастанием усилий для управления клапаном и усложнять конструкцию для обеспечения правильной посадки затвора на седло корпуса.

Задвижки отличаются друг от друга по форме запорного органа: клиновья, параллельная двухдисковая и параллельная однодисковая (шиберная).

Однодисковые задвижки применяют тогда, когда не требуется высокой герметичности. Жесткая конструкция затвора позволяет использовать их для довольно больших рабочих давлений и температур рабочей среды. Данный тип задвижек наиболее распространен на линейной части российских нефтепроводов.

Двухдисковые задвижки обеспечивают достаточно хорошее уплотнение в затворе в закрытом положении, их применяют, когда требуется надежная герметизация.

К клиновым относятся задвижки, затвор которых имеет вид плоского «клина». В клиновых задвижках седла и их уплотнительные поверхности параллельны уплотнительным поверхностям затвора и расположены под некоторым углом к направлению перемещения затвора. Существует 2 типа клина: цельный и упругий. Конструкция с цельным клином имеет ряд недостатков: повышенный износ уплотнительных поверхностей, потребность в индивидуальной пригонке седел и клина при сборе для обеспечения герметичности (это полностью исключает взаимозаменяемость клина и седел и усложняет ремонт), возможность заедания клина в закрытом положении в результате износа, коррозии или под действием температуры. Одним из главных достоинств клиновых задвижек является меньшее усилие при управлении затвором для обеспечения его герметичности по сравнению с параллельными задвижками. Это эксплуатационное свойство порождает уменьшение мощности приводных устройств с одной стороны и значительные технологические проблемы получения высокоточного клинового соединения с другой. Применение упругого клина обеспечивает более плотное прилегание уплотнительных поверхностей за счет упругой деформации обеих составляющих клина.[4]

Дисковый затвор — тип трубопроводной арматуры, в котором запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока рабочей среды. Также эти устройства называют заслонками, поворотными затворами, герметичными клапанами, гермоклапанами. Наиболее часто такая арматура применяется при больших диаметрах трубопроводов, малых давлениях среды и пониженных требованиях к герметичности рабочего органа, в основном в качестве запорной арматуры.

В дисковых затворах запирающий элемент, то есть затвор, имеет форму диска, который может перекрывать проход рабочей среде через кольцевое седло в корпусе путём поворота (как правило на 90°) затвора вокруг оси, перпендикулярной направлению потока среды, при этом ось вращения диска может являться его собственной осью (осевые дисковые затворы) или же не совпадать с осью (эксцентриковые дисковые затворы).

При классификации арматуры в зависимости от температуры имеет значение материал изготовления. Так арматура для низких температур (минус 60°С) изготавливается из легированных марок стали 20ХНЗЛ, 09Г2С и др, арматура для средних параметров (плюс 20-40°С) – из углеродистых сталей 20Л, 30-35Л, 45Л.

Одним из существенных параметров классификации запорной арматуры является способ ее управления. С данной точки зрения запорная арматура бывает дистанционно управляемой, с автоматическим или ручным управлением. Маркируется запорная арматура в соответствии с техническими параметрами изделия. В отдельных случаях запорная арматура для нефтепроводов, нефтепродуктопроводов и трубопроводов сжиженных углеводородных газов большого диаметра, получает индивидуальный идентификационный номер и технический паспорт. Выбор типа запорной арматуры обуславливается совокупной оценкой всех вышеперечисленных требований и их соответствия технологическим условиям эксплуатации.

1.3 Формирование требований к электроприводу

Важным условием в процессе функционирования электропривода является соответствие заданным критериям и показателям качества. При анализе работы запорной арматуры, процессов, протекающих в динамических режимах (пуск, реверс ,наброс нагрузки, торможение) необходимо управление выходными координатами, такими, как скорость и

момент, развиваемый приводом. С этой целью необходимо выбрать подходящую структуру системы управления.

Одной из таких является структура систем подчиненного регулирования параметров электропривода, в частности система векторного управления, ориентированная по вектору потокоцепления ротора.

Так как по трубопроводам могут транспортироваться различного рода жидкости, в том числе и взрывоопасные, то необходимо, чтобы электропривод выполнялся во взрывобезопасном исполнении.

На рисунке 1 изображен электропривод «Гусар», который удовлетворяет данному перечню требований.

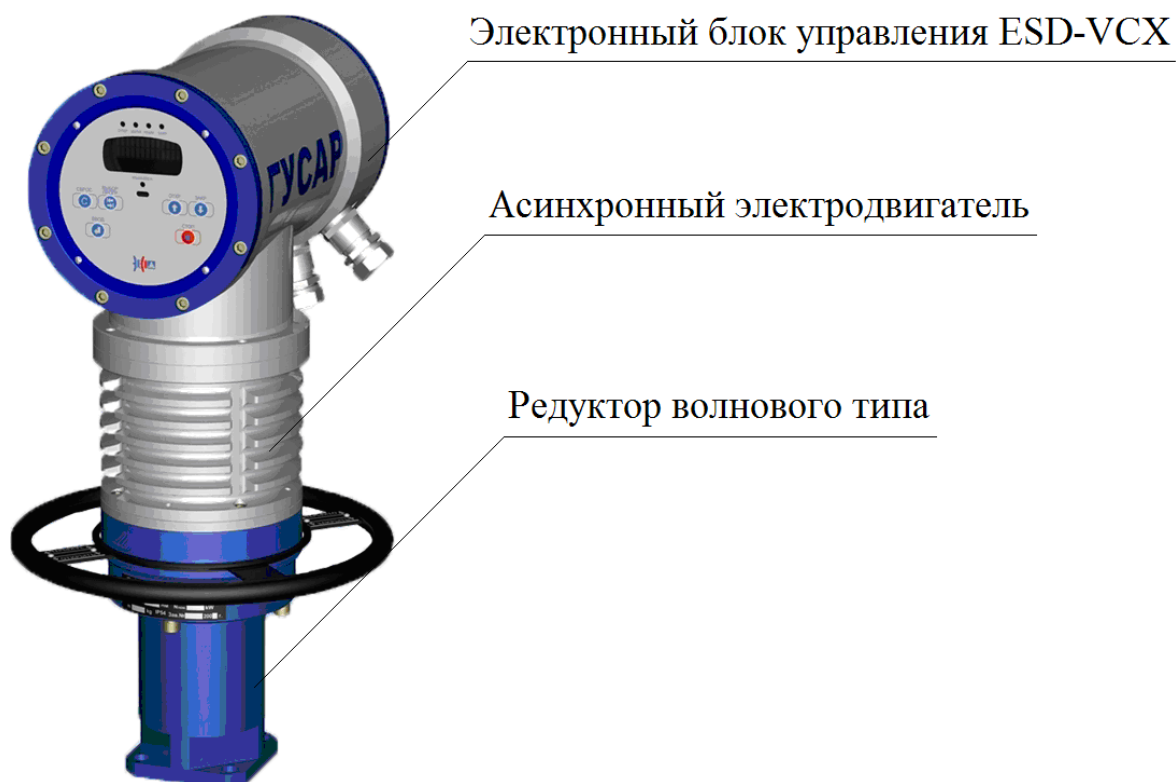


Рисунок 1 – Внешний вид электропривода «Гусар» и его составные части

Электропривод с электронной системой управления предназначен для многофункционального управления трубопроводной арматурой и используется в нефтяной, газовой, нефтехимической и других отраслях промышленности.

1.4 Структурная схема электропривода

На рисунке 2 представлена структурная схема электропривода «Гусар», на которой схематически показаны элементы, из которых состоит электропривод.

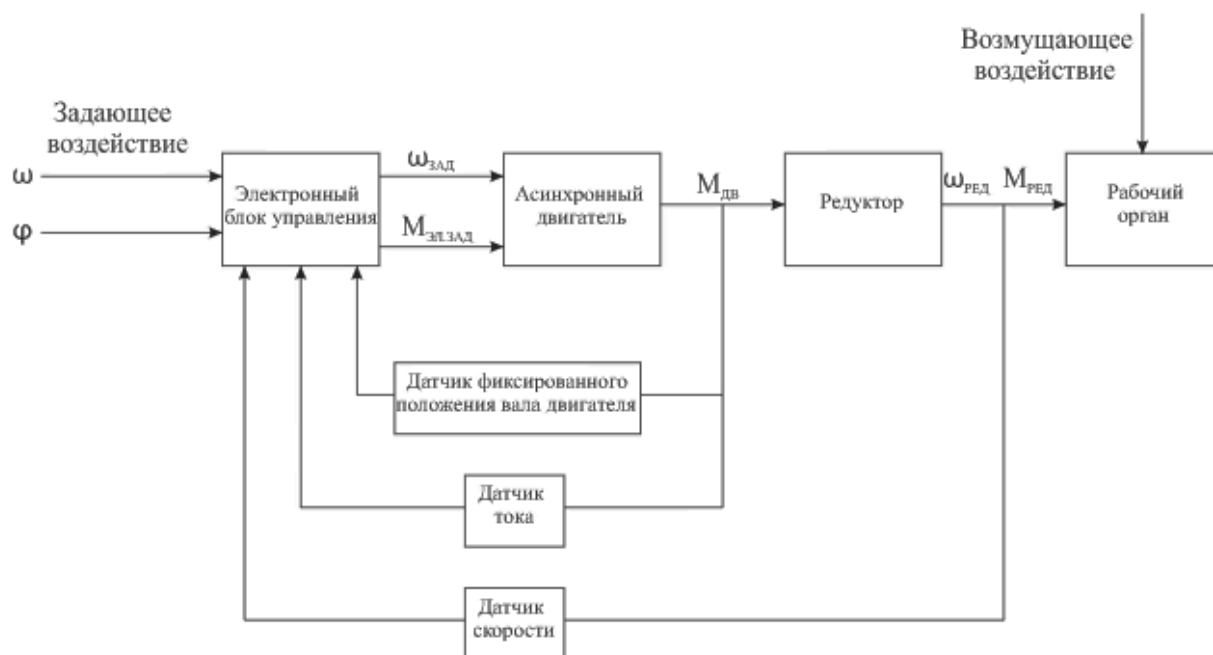


Рисунок 2 – Структурная схема электропривода

На вход системы в электронный блок управления подается управляющее воздействие в виде задания на скорость(кривая разгона), задания на угол поворота(задается в каждом отдельном случае при настройке электропривода). В зависимости от управляющих и возмущающих воздействий электронный блок управления формирует сигнал задания на скорость и электромагнитного момент. Система является замкнутой по возмущению с использованием датчиков тока и скорости.

Все вышесказанное позволяет сделать заключение, что в исследовании электроприводов запорной арматуры с целью повышения их надежности и отказоустойчивости динамические режимы (пуск, реверс, наброс нагрузки, торможение) играют важную роль, так как именно на этих

этапах могут возникнуть повреждения или разрушения элементов электропривода или запорной арматуры.

Для повышения динамических характеристик электропривода необходимо рассмотреть его составные части: электродвигатель, редуктор, система управления электроприводом. Для начала необходимо провести математическое и имитационное моделирование асинхронного двигателя, используемого в данном приводе [5].

3 Синтез системы векторного управления асинхронным электродвигателем запорной арматуры

Системы векторного управления в настоящее время являются одними из наиболее распространенных среди систем управления электроприводами переменного тока. Они позволяют просто и эффективно управлять такими сложными объектами как асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, что в свою очередь, позволяет существенно расширить область его применения, почти полностью вытесняя из автоматизированных управляемых приводов двигатели постоянного тока. Это связано в первую очередь с развитием силовой электроники, позволяющей создавать надежные и относительно дешевые преобразователи, а также с развитием быстродействующей микроэлектроники, способной реализовать алгоритмы управления практически любой сложности. Поэтому высококачественный асинхронный векторный электропривод в настоящее время является по существу техническим стандартом.[9] В электронном блоке управления электропривода «Гусар» также заложена система векторного управления.

На рисунке 17 изображен блок управления электроприводом:



Рисунок 17 – Электронный блок управления

Электронный силовой модуль системы управления электроприводом ESD – VCX с преобразователем на основе IGBT и интеллектуальными возможностями интегрируется в АСУ ТП или единую систему телемеханики предприятия. Система управления электроприводом обеспечивает выполнение следующих функций:

- открытие, закрытие и регулировка проходного сечения трубопроводной арматуры с точной остановкой в любых положениях на всей длине хода за счет динамического торможения электродвигателя;
- обеспечение любого закона движения на всей длине хода отдельно на открытие и закрытие арматуры;
- отключение электродвигателя при превышении заданных усилий;
- работа в аварийных ситуациях: обрыв одной из фаз, случайное чередование фаз, превышение стандартных допусков напряжения (± 30 процентов от номинала);
- обеспечение защиты в течение 50 секунд при превышении напряжения на 50 процентов и защита от микросекундных импульсов перенапряжения до 2000 В;
- контроль сопротивления изоляции между фазами и корпусом электродвигателя;
- защита от перегрева обмоток электродвигателя;
- защита от несанкционированных или ошибочных действий оператора;

- сигнализация об отсутствии электродвигателя в приводе;
- цифровая и световая индикация параметров и режимов работы[10].

Далее приведен поэтапный синтез системы управления асинхронным электроприводом [11].

3.5 Исследование переходных процессов в линеаризованной системе

На рисунках 31, 32 приведены имитационные модели двигателя во вращающейся и неподвижной системах координат. На рисунках 33, 34 – графики переходных процессов данных систем. В момент времени 0,3 с. Был произведен наброс нагрузки, в 0,5 с. – сброс нагрузки, в момент времени 0,7 – реверс.

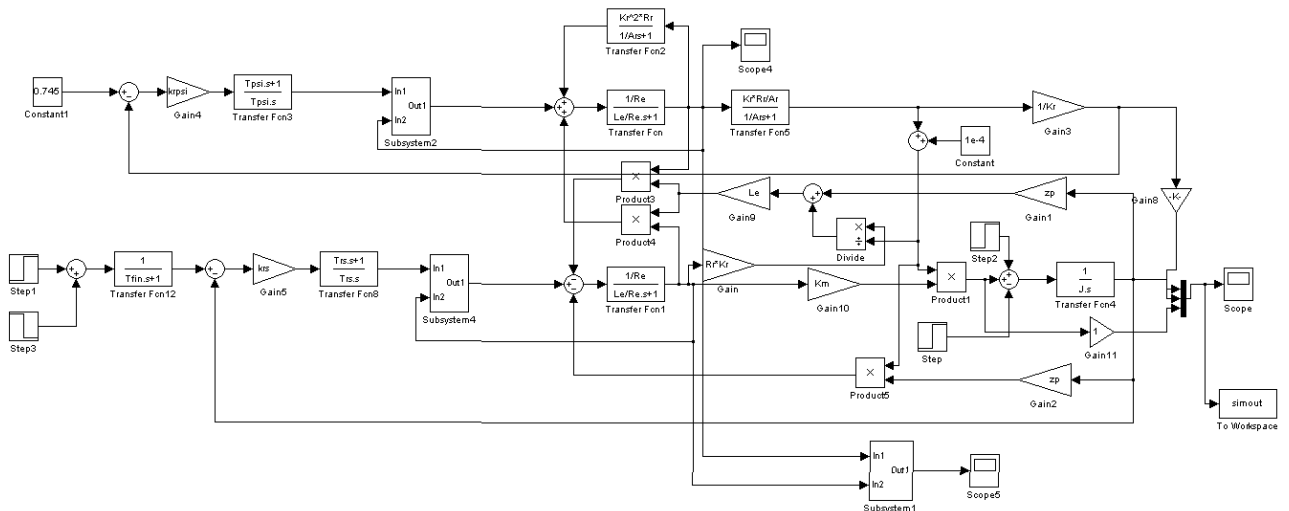


Рисунок 31 – Имитационная модель двигателя во вращающейся системе координат

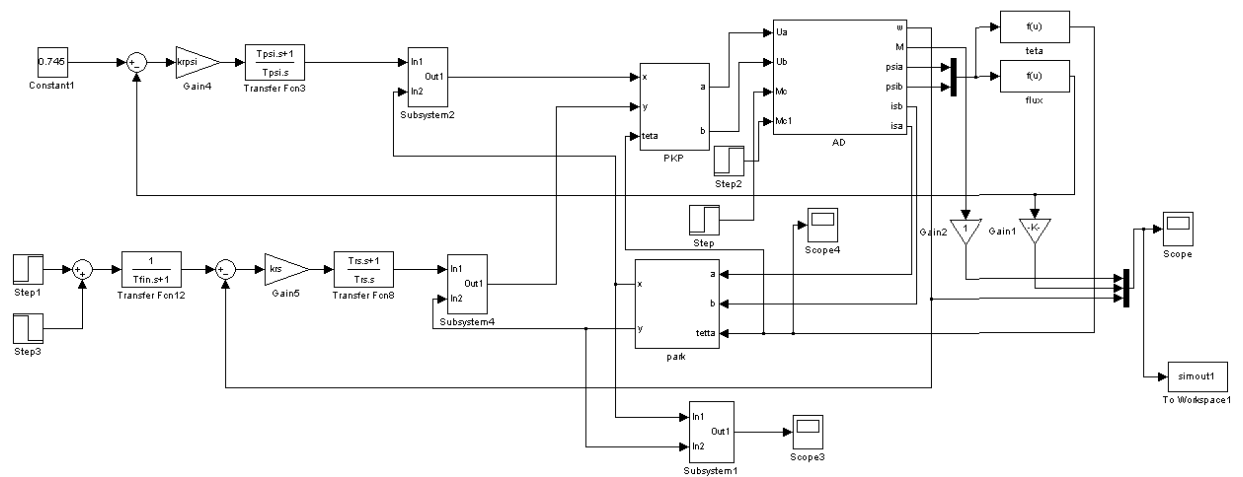


Рисунок 32 – Имитационная модель двигателя в неподвижной системе координат

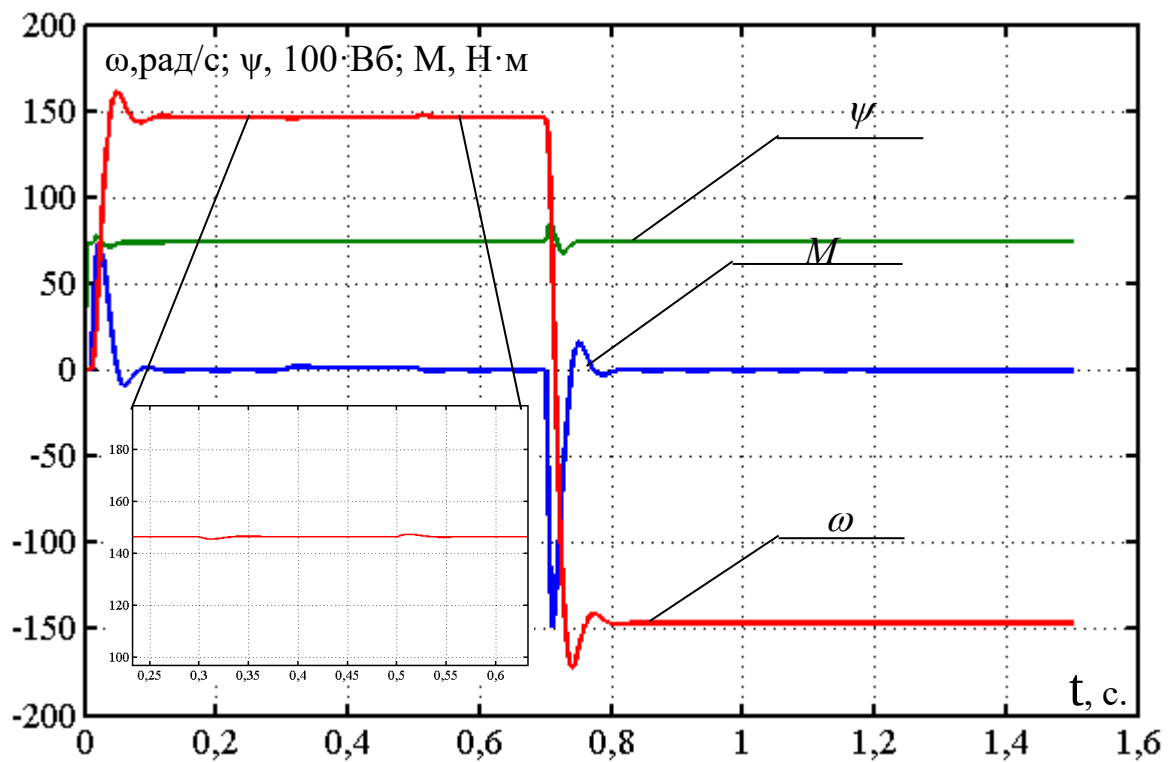


Рисунок 33 – Переходные процессы во вращающейся системы координат

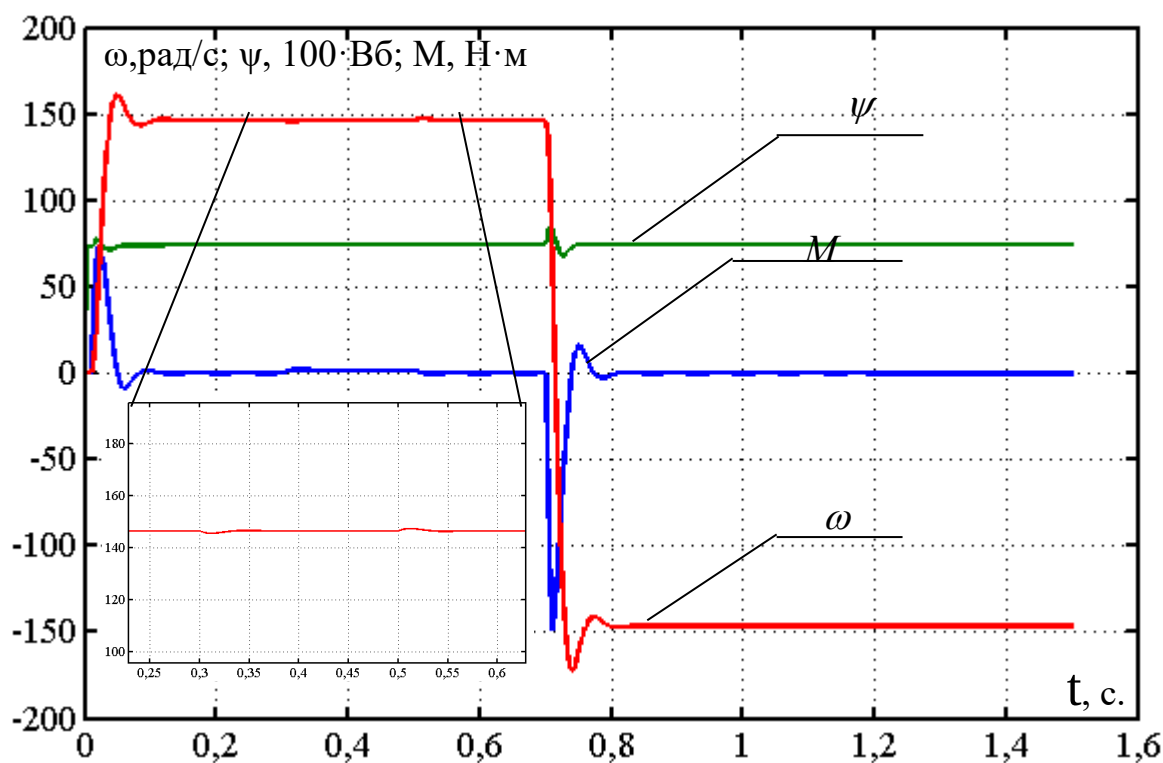


Рисунок 34 – Переходные процессы в неподвижной системы координат

Идентичность графиков переходных процессов позволяет судить об идентичности моделей асинхронного двигателя в неподвижной и вращающейся системах координат.

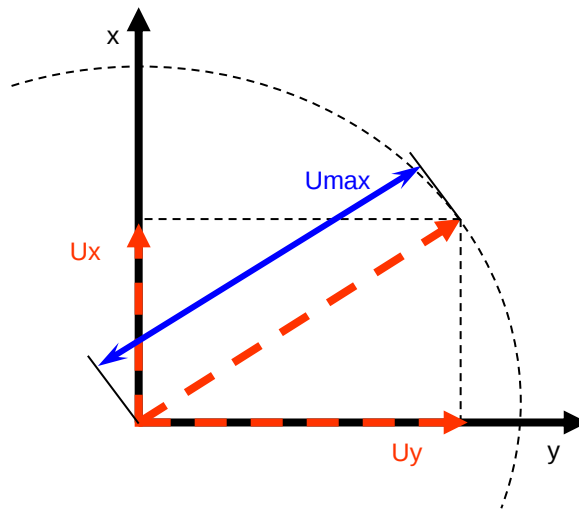
3.6 Разработка нелинейной системы асинхронного электропривода с векторным управлением

3.6.1 Ограничения в асинхронном электроприводе с векторным управлением

Введение ограничения на выходе регуляторов в асинхронном электроприводе с векторным управлением необходимо для:

- ограничения максимальной амплитуды напряжения, подводимого к обмоткам АД ($U_{MAX} = 311V$);
- ограничения токов, протекающих в обмотках статора АД;
- ограничение момента, развиваемого на валу АД.

Рекомендации, приводимые для задания уровня ограничений на выходе регуляторов тока.



$$U_x \approx 0,312 \cdot U_{MAX}$$

$$U_y \approx 0,95 \cdot U_{MAX}$$

Рисунок 35 – Ограничения на выходе регуляторов тока

U_x - формирование магнитного потока в АД,

U_y - формирование момента на валу АД.

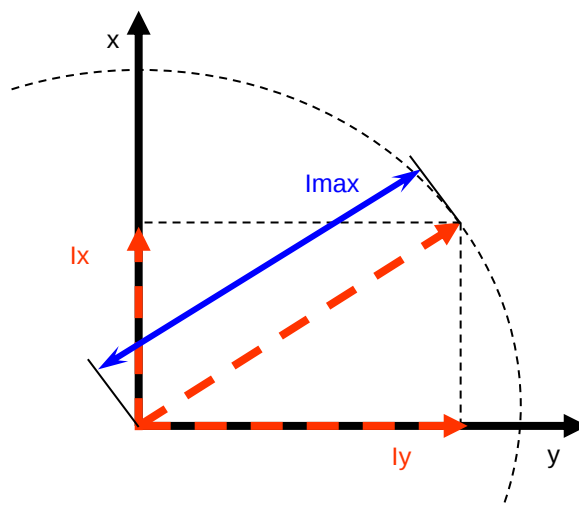
Значение U_x и U_y можно изменять, главное чтобы соблюдалось условие: $\sqrt{U_x^2 + U_y^2} \leq U_{MAX}$.

В данном случае были приняты такие значения:

$$U_x = 0,312 \cdot U_{MAX}$$

$$U_y \approx 0,98 \cdot U_{MAX}$$

Рекомендации для задания уровня ограничений на выходе регуляторов скорости и потокосцепления.



$$\sqrt{I_X^2 + I_Y^2} \leq I_{MAX}$$

Рисунок 36 – Ограничения на выходе регуляторов скорости и
потокосцепления

I_X - намагничивающая часть составляющей тока статора АД.

I_Y - это составляющая пропорциональна моментному усилию, развиваемому на валу АД.

I_{MAX} - максимальный ток статора АД, кратковременно допускаем перегрузки от $2..3 I_{НОМ}$.

$I_{X MAX}$ - ограничение намагничивающей составляющей тока статора АД, $1,5...2 I_{НОМ}$.

$I_{Y MAX}$ - определяет максимальный момент, развиваемый на валу АД, $2...3 I_{НОМ}$.

В данном случае были приняты такие значения:

$$I_{X MAX} = 2 \cdot I_{НОМ}$$

$$I_{Y MAX} = 3 \cdot I_{НОМ}$$

3.6.2 Адаптация системы управления к нелинейностям

Введение ограничений на выходе регуляторов приводит к изменению характера переходных процессов, полученных ранее при оптимизации. Для приведения картины переходных процессов к удовлетворительному виду требуются дополнительные изменения структурной схемы системы управления. Для чего предпринимают следующие меры:

- применение ПИ-регуляторов с возможностью коррекции интегрального насыщения.

- установка задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах для формирования плавного изменения заданий по скорости и потокосцеплению.

3.6.3 Коррекция интегрального насыщения

Интегральное насыщение возникает, когда ПИ- или ПИД-регулятор в течении длительного времени должен компенсировать ошибку, лежащую за пределами диапазона управляемой переменной.

Поскольку выход регулятора ограничен, ошибку крайне сложно свести к нулю, что приводит к перерегулированию, колебательности, затягиванию времени ПП.

Ограничение регуляторов реализуем с помощью: звена насыщения и обратной связи, которая корректирует интегрирующую составляющую при вхождении регулятора в режим насыщения.

Структурная схема ПИ-регулятора с ограничением по выходному значению приведена на рисунке 37.

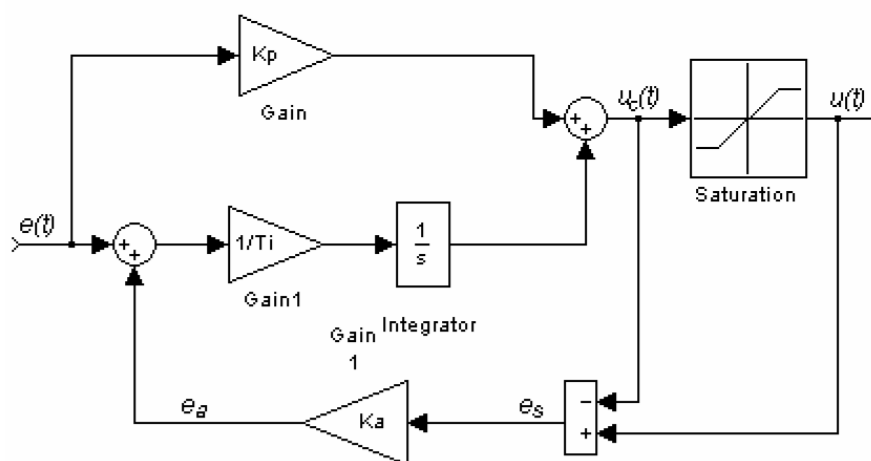


Рисунок 37 – Структурная схема ПИ-регулятора с ограничением по выходному значению

Схема работает следующим образом: На вход регулятора подается сигнал $e(t)$ (ошибка регулируемой величины). Сигнал $e(t)$ пропорционально увеличивается на коэффициент K_p и поступает на сумматор, но в то же время $e(t)$ поступает в ветвь интегрирования, где суммируется с сигналом обратной связи коррекции интегральной составляющей, который до момента

насыщения равен “0”. Затем с корректируемый сигнал по интегрированию $e(t) + e_a$, множится на $1/T_i$, интегрируется и суммируется с пропорциональной составляющей. В дальнейшем не ограниченный сигнал ПИ-регулятора поступает на блок ограничения и в обратную связь коррекции интегрального насыщения. В момент времени, когда регулятор еще не вошел в насыщение $e_a = 0$, а как только регулятор входит в режим насыщения e_a принимает отрицательное значение, результирующий сигнал $e(t) + e_a$ поддерживается на нуле. Для получения корректного сигнала коррекции необходимо правильно рассчитать коэффициент K_a .

3.6.4 Исследование переходных процессов в системе электропривода с ограничениями

Модель асинхронного двигателя в неподвижной системе координат с ограничениями регуляторов и задатчиками интенсивности приведена на рисунке 38.

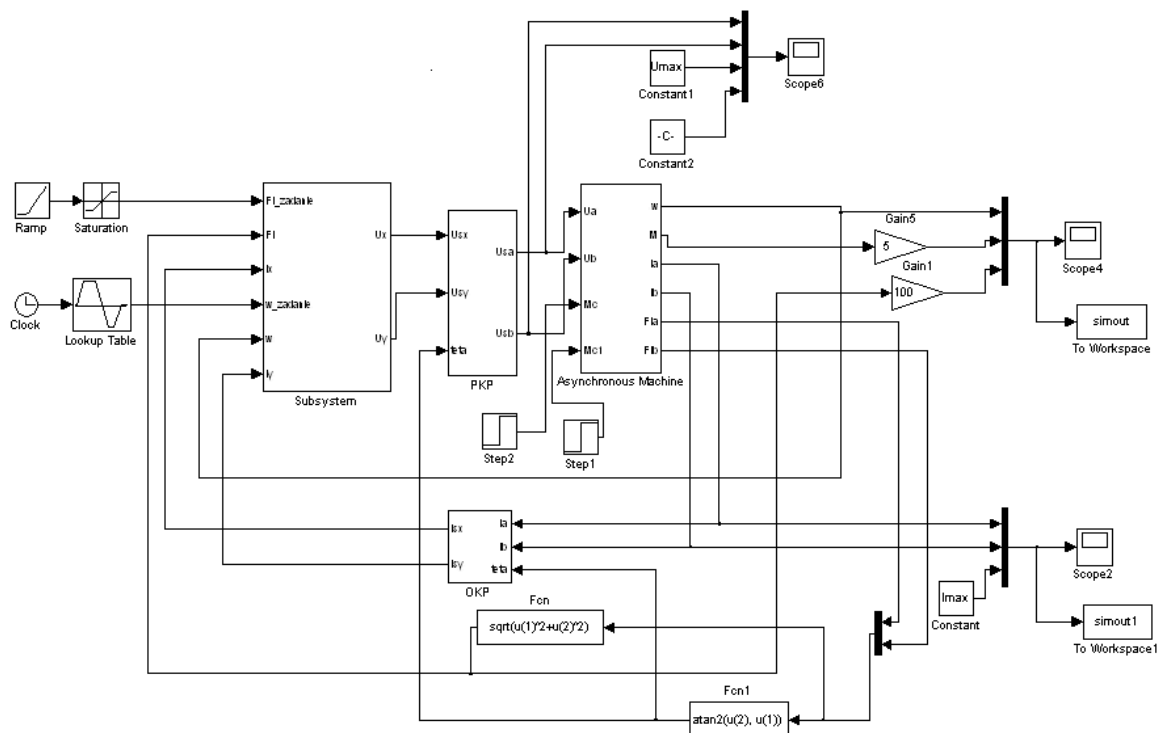


Рисунок 38 – Модель двигателя с ограничениями регуляторов и задатчиками интенсивности

Графики переходных процессов скорости, момента и потокосцепления в динамических режимах работы представлены на рисунке 39. В момент времени 0,8 с. был произведен наброс нагрузки, 1,2 с. – сброс нагрузки. В 1,5 с. было произведено реверсирование двигателя, останов – в 3 с.

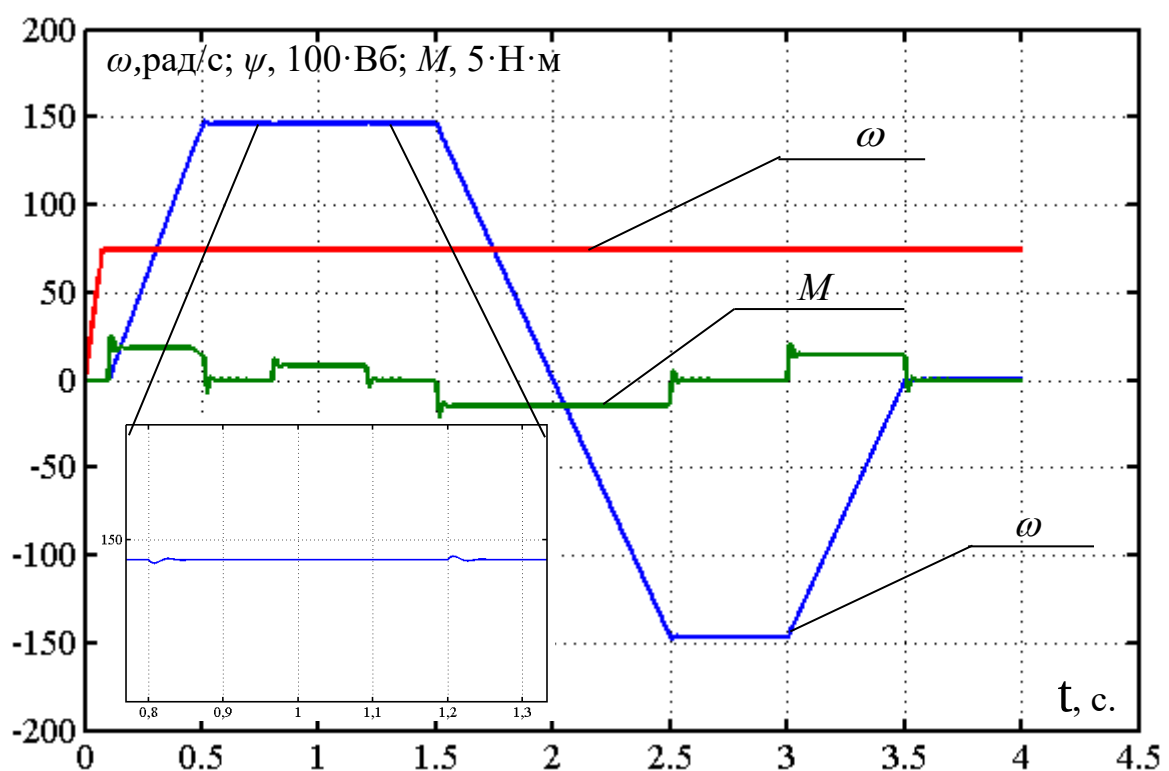


Рисунок 39 – Переходные процессы скорости, момента и потокосцепления в динамических режимах работы

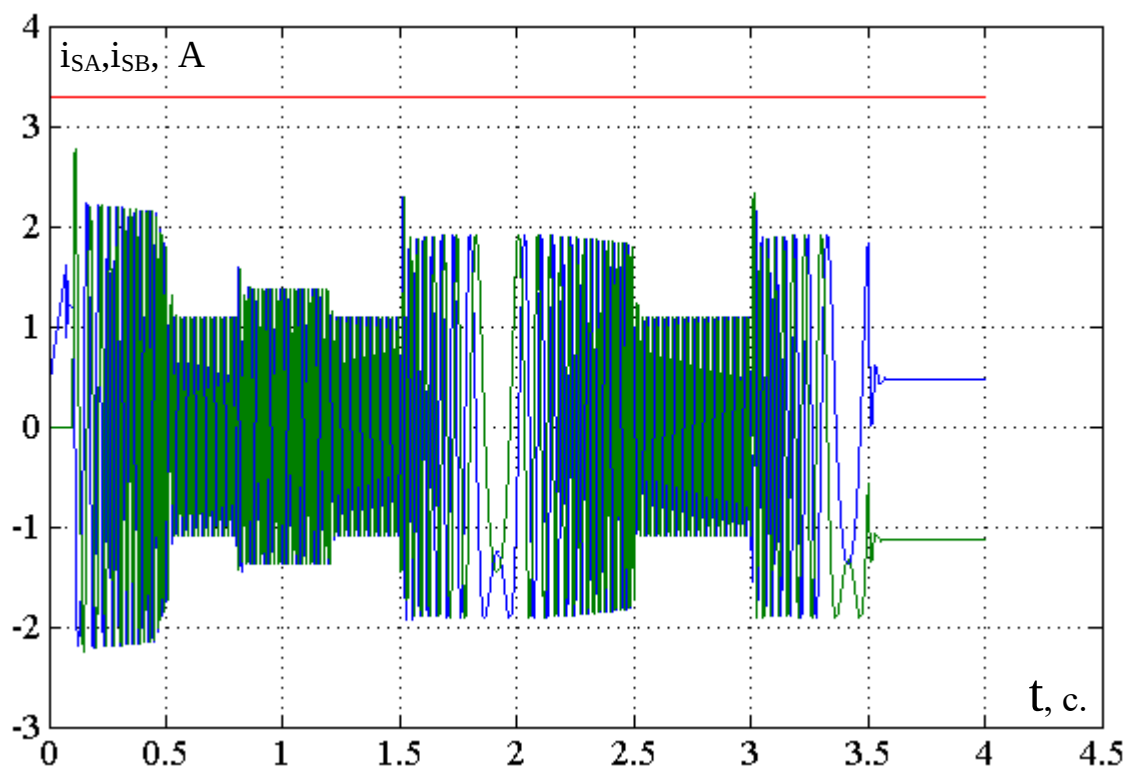


Рисунок 40 – Переходные процессы токов статора i_{SA} , i_{SB} в динамических режимах работы

Рисунок 40 показывает, что фазные токи не превышает допустимого значения, а значит параметры ограничения были выбраны верно.

В процессе синтеза системы векторного управления получены передаточные функции контуров регулирования тока, потокосцепления, скорости. Погрешность между ожидаемыми и полученными показателями качества не превышает 10 процентов, что позволяет судить о верной настройке контуров регулирования. Контур скорости был получен с допустимой погрешностью, так как взято большее значение малой постоянной времени контура скорости ($T_{\mu c} = 32 \cdot T_{\mu r}$), чтобы компенсировать взаимное влияние контуров скорости и потокосцепления. Адаптация системы управления к нелинейностям реализована использованием ПИ-регуляторов с возможностью коррекции интегрального насыщения, что позволяет снизить колебательность и уменьшить время переходного процесса. Данные свойства системы положительно скажутся на электроприводе при исследовании динамических режимов.

4 Исследование динамических режимов асинхронного электропривода

4.1 Применение задатчиков интенсивности и их влияние на переходные процессы

Для исследования динамических режимов работы асинхронного электропривода (пуск, наброс нагрузки, торможение) использованы задатчики интенсивности, а именно заданы кривые скорости и момента электропривода.

В программной среде Advanced Grapher графически получены кривая задания момента электропривода и участок торможения кривой скорости, которые приведены на рисунках 41 и 42 соответственно:

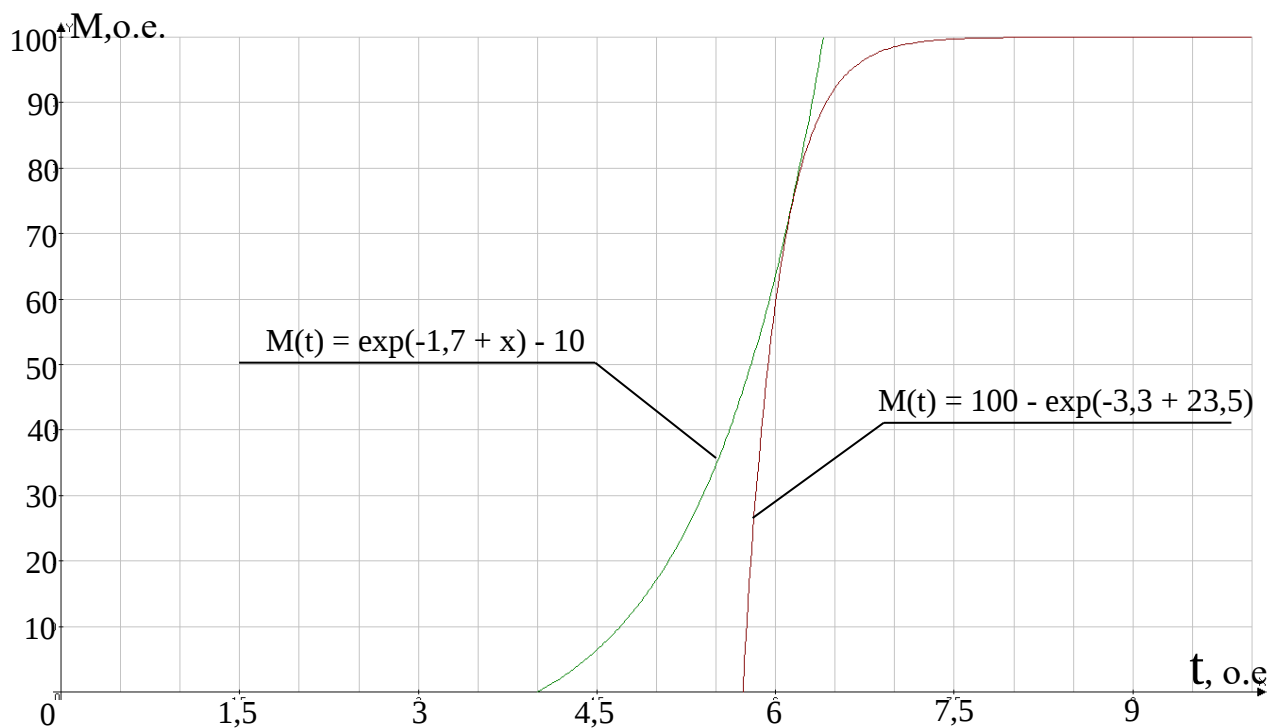


Рисунок 41 – График кривой задания момента электропривода

Искомая кривая находилась путем аппроксимации двух экспоненциальных зависимостей в одну.

160 ω , о.е.

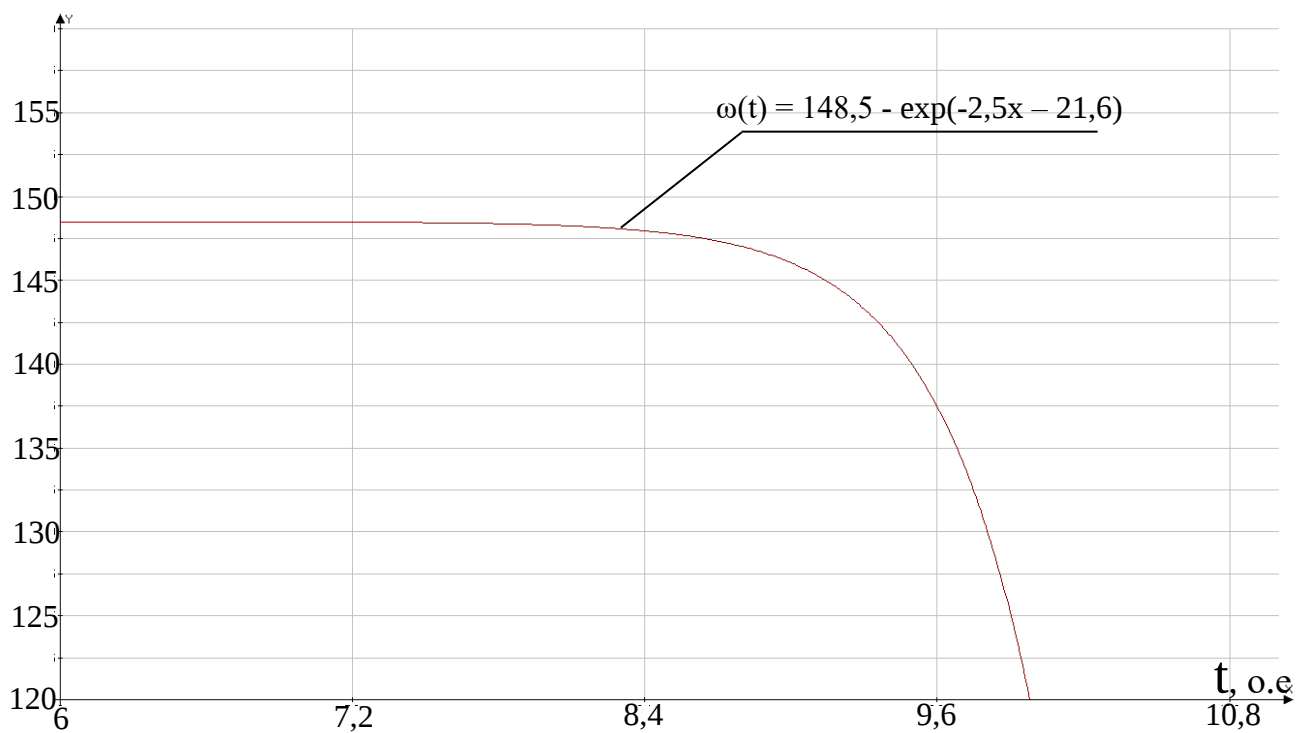


Рисунок 42 – График участка начала торможения кривой задания скорости электропривода

Далее, используя трассировку, данные зависимости были реализованы в среде Matlab Simulink:

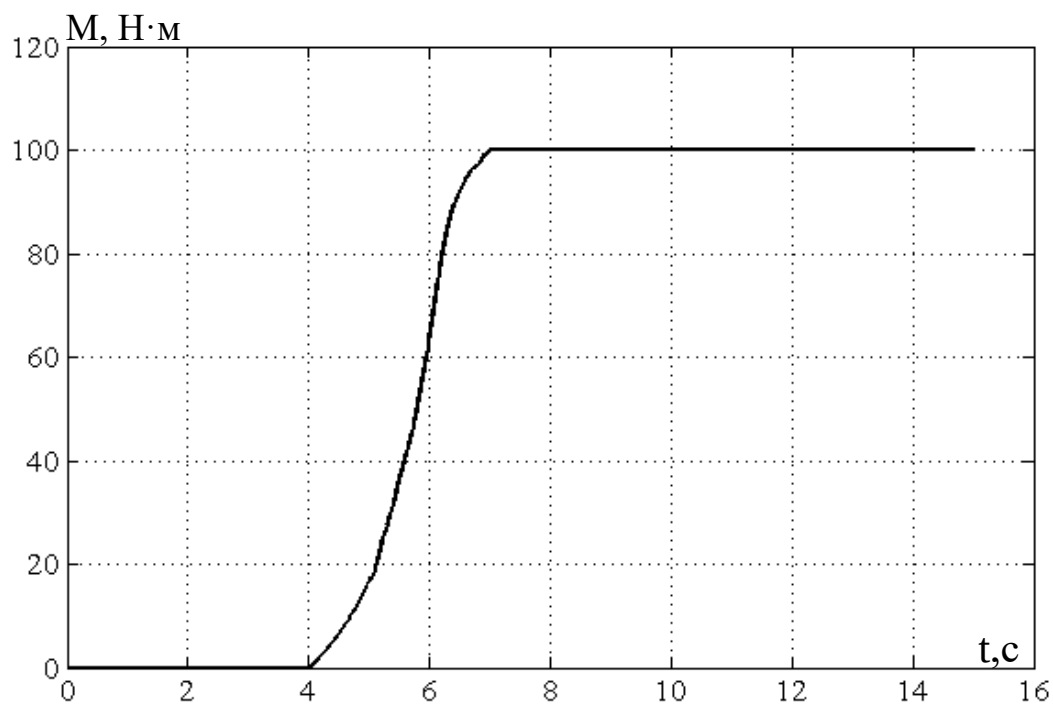
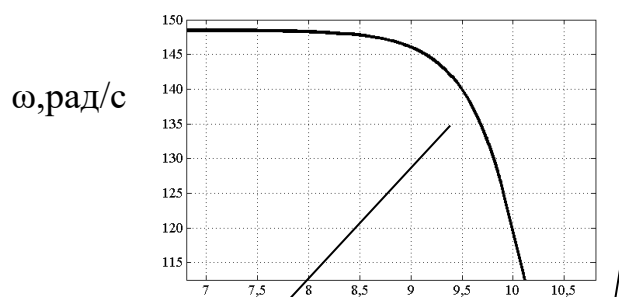


Рисунок 43 – Кривая задания момента, реализованная в среде Matlab



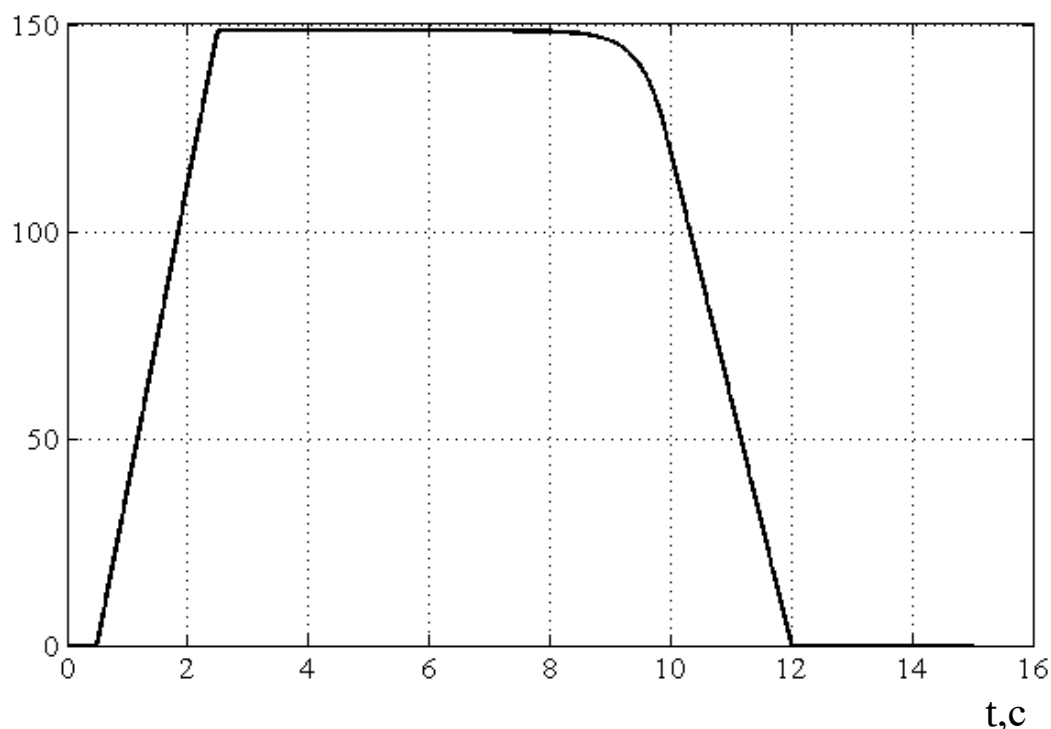


Рисунок 44 – Кривая задания скорости, реализованная в среде Matlab

Применение задатчиков интенсивности во входных управляющих каналах позволяет уменьшить влияние нелинейностей, присутствующих в системе.

Кроме интенсивности изменения сигнала, задержка на формирование задания в канале скорости позволяет рациональнее использовать ресурс источника.

4.2 Сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования

Целью данной работы является исследование динамических режимов работы асинхронного электропривода запорной арматуры. Для достижения поставленной цели произведено математическое моделирование асинхронного двигателя, проведен синтез системы управления асинхронным электроприводом. Используя сведения, предоставленные ООО НПО

«Сибирский машиностроитель», составлена окончательная модель электропривода запорной арматуры и проведены практические исследования.

Данный раздел посвящен результатам исследования данных, полученных теоретическим и экспериментальным путем.

На рисунке 45 изображена схема испытательной установки.

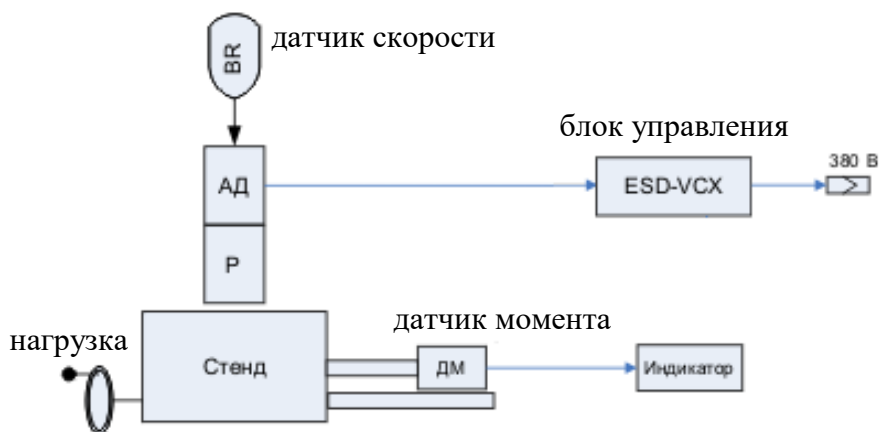


Рисунок 45 – Схема испытательной установки

Электропривод устанавливается на испытательный стенд, на котором в качестве нагрузки присутствует диск с тормозными колодками и датчик момента для измерения момента на выходе редуктора.

На рисунке 46 изображена установка для испытания электроприводов запорной арматуры.

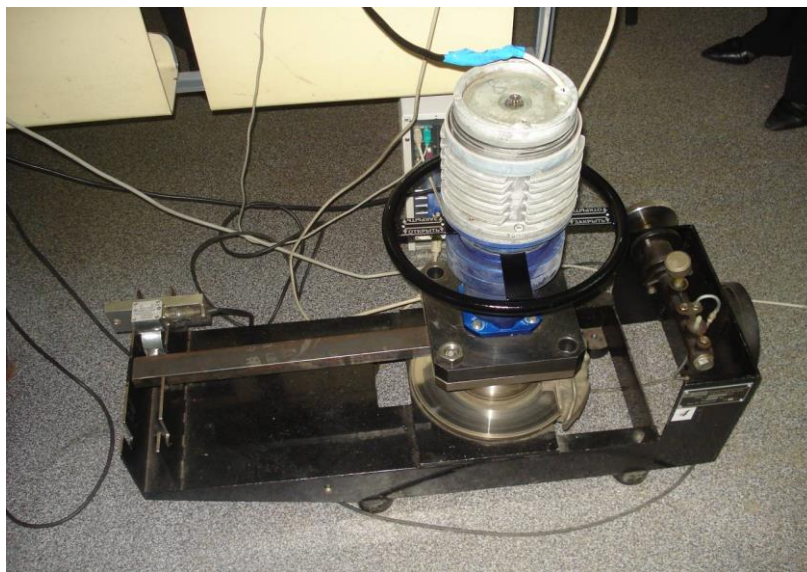


Рисунок 46 – Испытательный стенд для электроприводов

Имитационная модель электропривода приведена на рисунке 47.

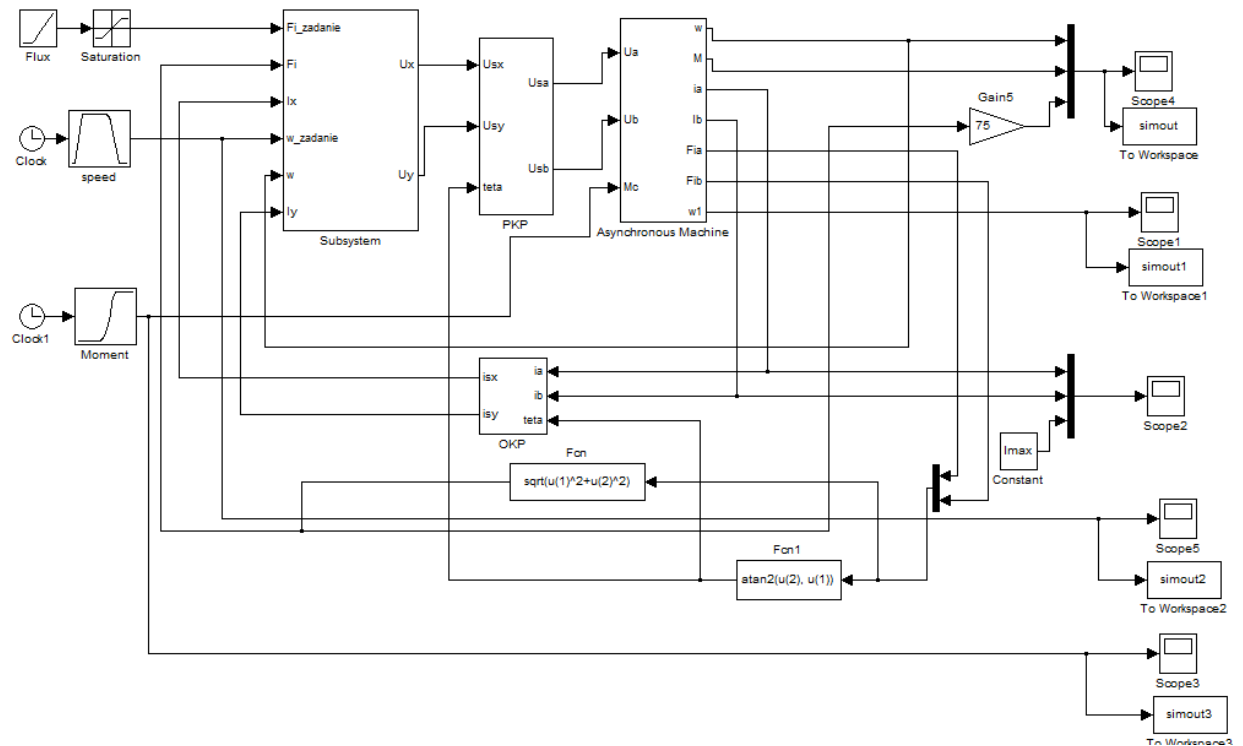


Рисунок 47 – Имитационная модель электропривода

Данная модель представляет собой модель двигателя из предыдущей главы, дополненная датчиками скорости и момента, а также моделью редуктора:

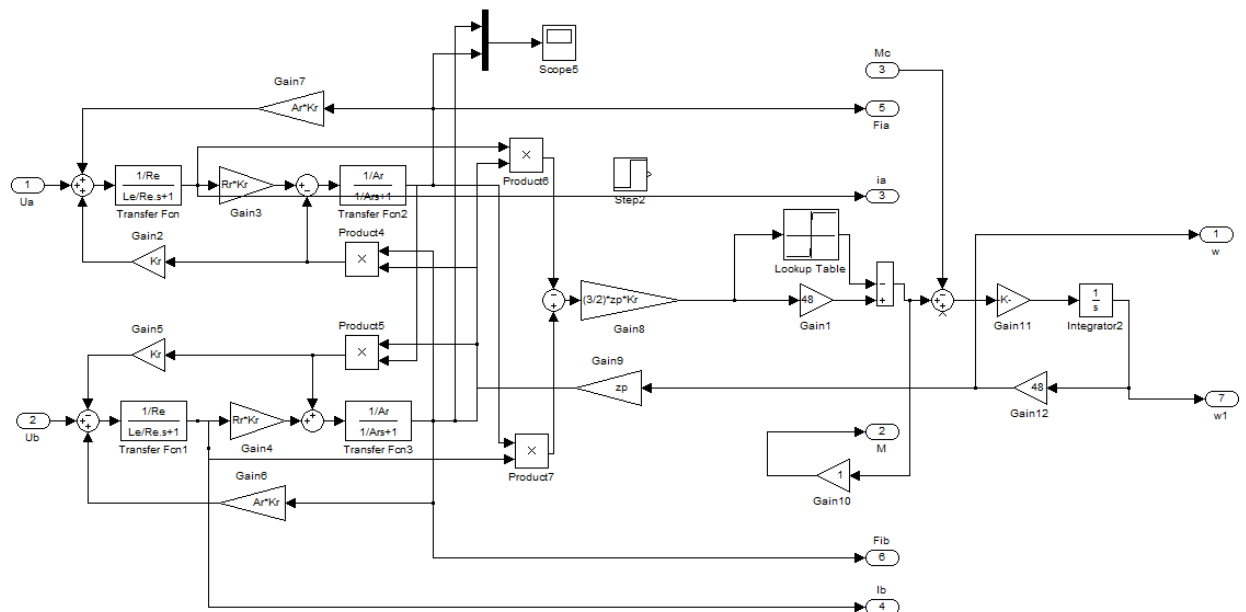


Рисунок 48 – Модель механической части электропривода

Далее приведены результаты практических экспериментов и имитационного моделирования, графики скорости и момента электропривода.

4.2.1 Исследование динамических режимов, возникающих в процессе изменения момента электропривода

На рисунке 49 приведено сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования. На рисунке 50 приведена динамическая механическая характеристика.

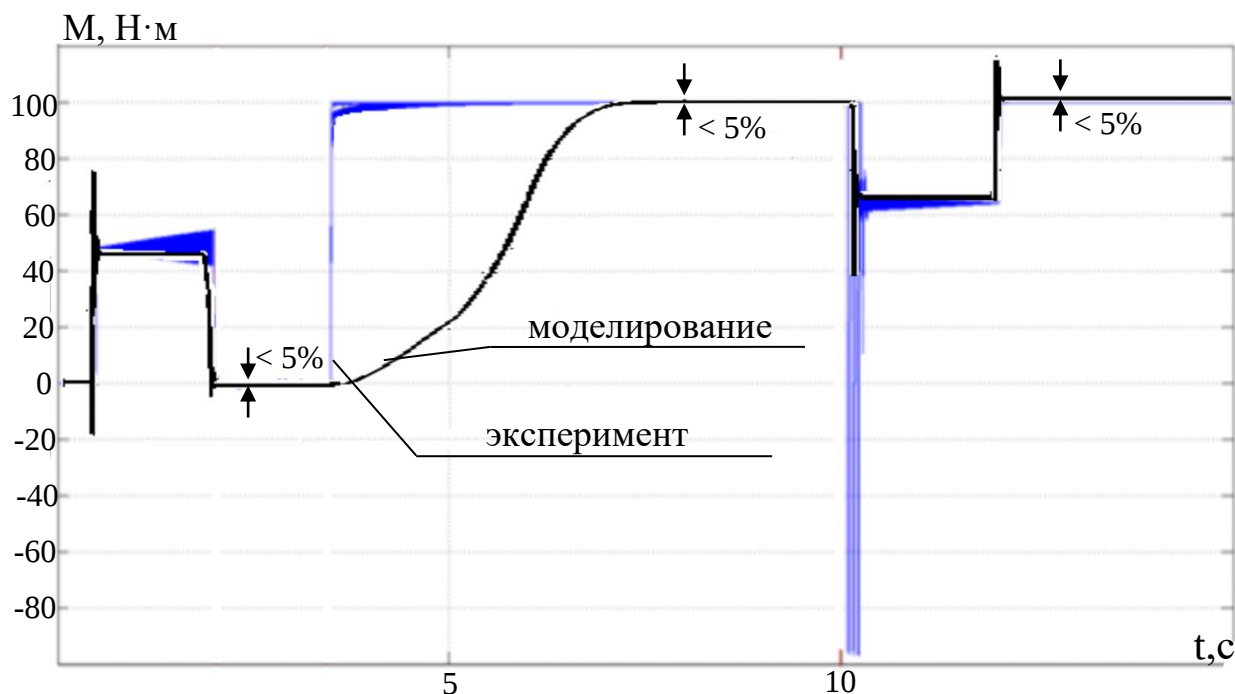


Рисунок 49 – Сравнение результатов исследований момента электропривода

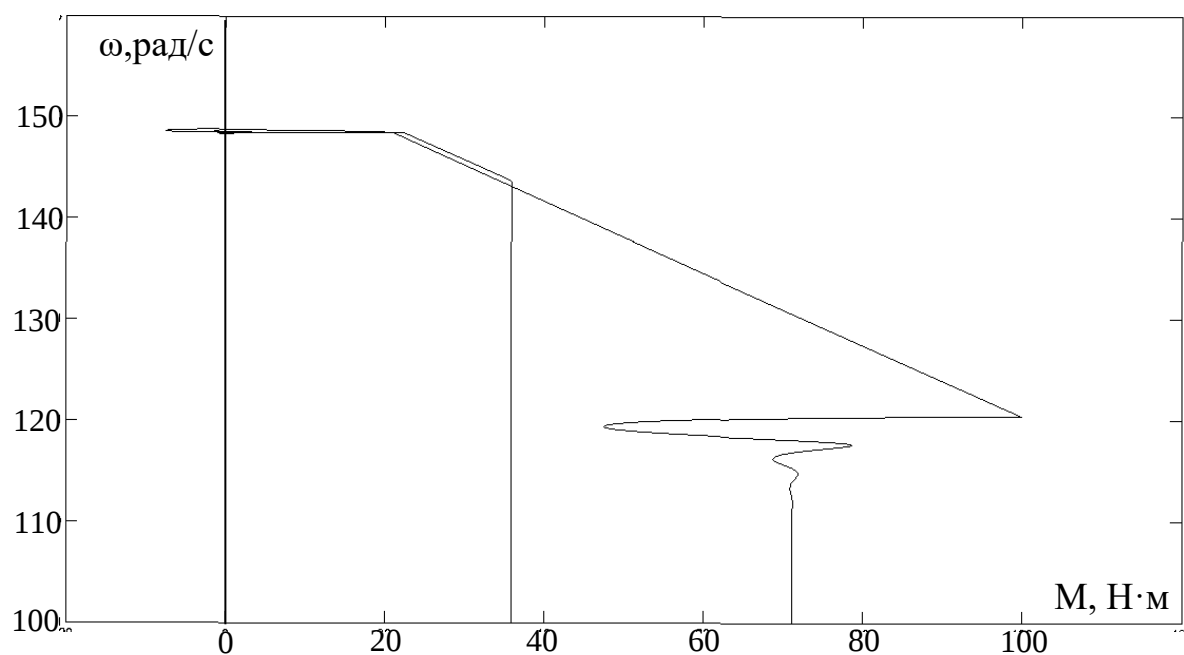


Рисунок 50 – Динамическая механическая характеристика электродвигателя

Из представленных графиков видно, что при таком задании кривой изменение момента электропривода становится ступенчатым, более плавным, что исключает возможность гидродинамического удара.

4.2.2 Исследование динамических режимов, возникающих в процессе изменения скорости электропривода

На рисунке 51 приведено сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования. На рисунке 52 приведены графики скорости при пуске на номинальной частоте и на пониженной.

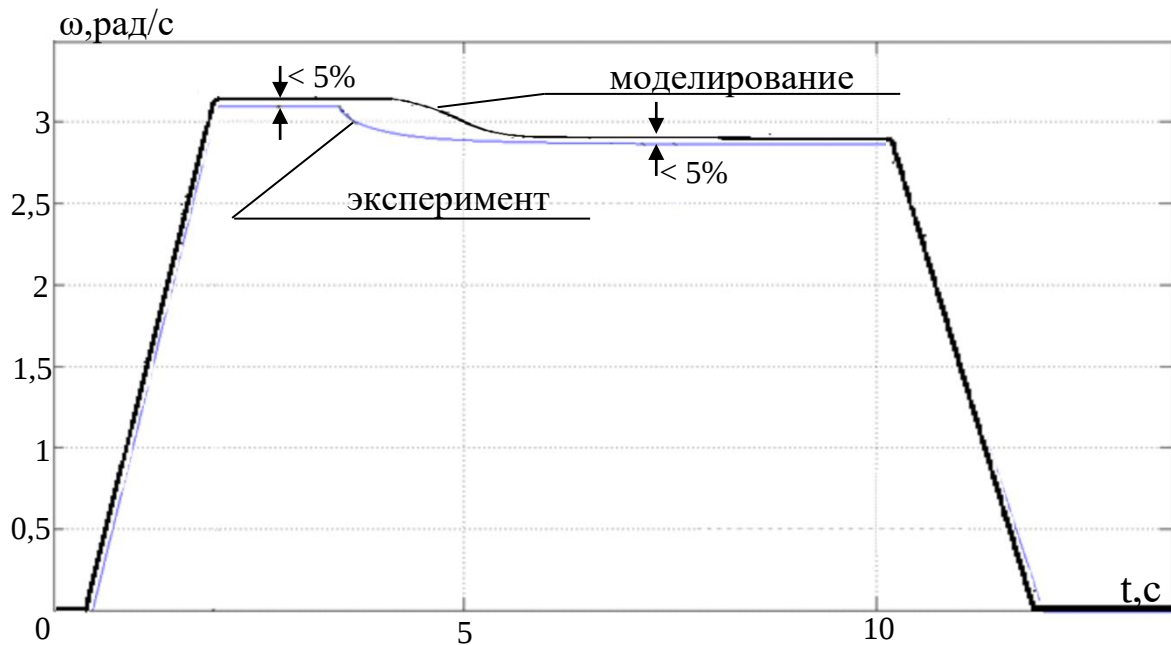


Рисунок 51 – Сравнение результатов исследований скорости электропривода

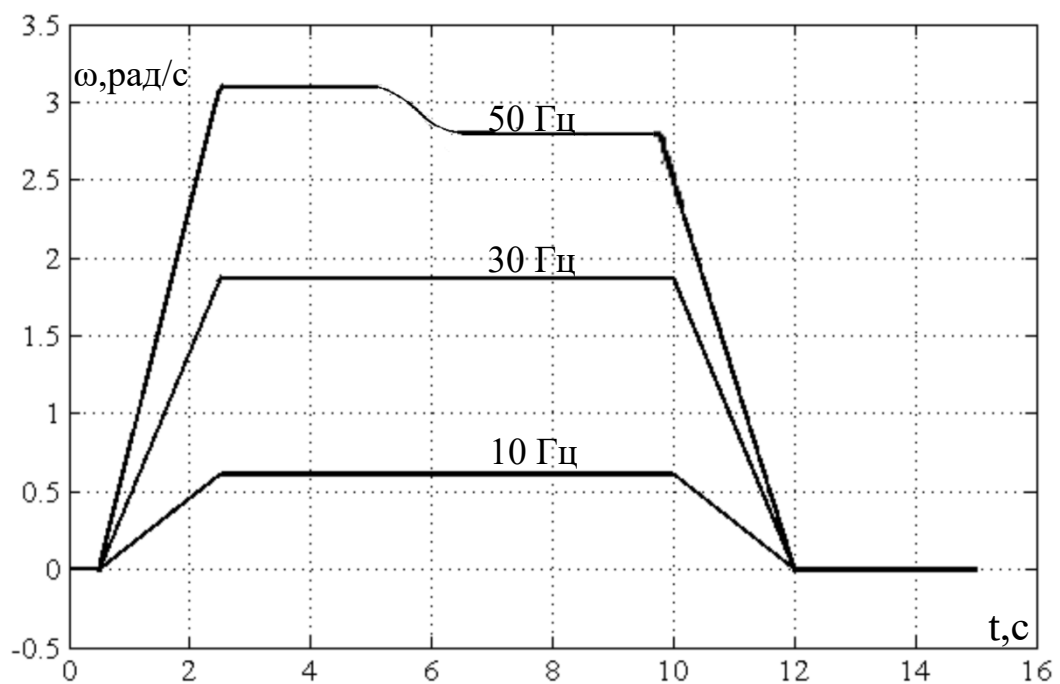


Рисунок 52 – Скорость электропривода при различной частоте питающего напряжения

Полученные результаты говорят о том, что плавное ступенчатое задание на момент положительно влияет на динамику привода, то есть изменение скорости происходит плавно, без скачков.

По результатам сравнения экспериментальных данных и имитационного моделирования получено следующее:

1. Расхождение данных не превышает 5 процентов, значит результаты являются адекватными и пригодны для работы в дальнейших исследованиях;

2. Использование данной кривой момента позволило сделать переходной процесс изменения момента электропривода более плавным. Как следствие, более плавным стал и процесс изменения скорости. В сумме эти факторы позволят избежать таких негативных явлений, как гидроудар, которое безусловно имеет место при транспортировке жидкости по трубопроводам.

3. Корректировка участка торможения кривой задания скорости позволила снизить колебания момента электропривода в процессе торможения, что также положительно сказывается на динамике всего электропривода в целом.

Заключение

Для исследования динамических режимов был выбран электропривод, удовлетворяющий предъявленным требованиям. Рассмотрены основные элементы электропривода, а именно:

- асинхронный электродвигатель. Проведено математическое и имитационное моделирование. Проверена адекватность данной модели реальному двигателю путем сравнения расчетных и графических данных. Погрешность данной проверки не превышает 12 процентов, что говорит об адекватности модели и дает возможность использовать ее в дальнейшем.

- редуктор волнового типа. Описан принцип действия волновой передачи и имитационная модель редуктора. Проведено сравнение традиционных волновых передач с зубчатым зацеплением с передачами, использующими промежуточные тела качения.

- система векторного управления асинхронным электродвигателем. Произведен поэтапный синтез контуров системы управления (тока, потокосцепления, скорости). Сравнение показателей качества с ожидаемыми показало, что погрешность не превышает 10 процентов. Данная погрешность является допустимой. Система адаптирована к нелинейностям с использованием коррекции интегрального насыщения.

Исследование динамических режимов проводилось путем сравнения экспериментальных данных с результатами моделирования. Для улучшения динамических свойств системы предложено использовать кривые задания на скорость и момент привода. Кривые получены графическим путем в программной среде Advanced Grapher. Данные задатчики позволят компенсировать влияние нелинейностей, более рационально использовать ресурс источника питания. Графические данные позволяют судить о том, что кривые задания на скорость и момент позволяют избежать таких явлений как гидродинамический удар в процессе открытия/закрытия арматуры, снижают колебания момента электропривода при торможении более чем в 2 раза, дают

возможность предотвратить повреждение конструкции запорной арматуры при резком срыве после длительных простаиваний.

Список литературы

1. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода, М., «Энергия», 1971. – 320 с.
2. Запорные устройства, режим доступа http://armgasinvest.ru/catalog/detail/zapornie_ustrojstva/, свободный, 20.11.11 г.
3. Гошко А.И. Арматура промышленная общего и специального назначения. Справочник – М.: Мелго, 2007 г.
4. Чернышев А. Ю., Чернышев И. А. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 2010 г. – 218 с.
5. Волновая передача [электронный ресурс], режим доступа <http://ru.wikipedia.org/>, свободный, 16.01.12 г.
6. О.А. Ряховский Детали машин, М.: Изд-во МГТУ, 1999 г.
7. Машиностроительное черчение: Учебное пособие для втузов/Фролов С. А., Воинов А. В., Феоктистова Е. Д. – М.; Машиностроение, 1981. – 304 с.
8. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. – Санкт-Петербург, 2002 г.
9. Электроприводы [электронный ресурс], режим доступа http://www.nposibmach.ru/electr_drive.html?cid=1, свободный, 18.01.12 г.
10. Мальцева О. П. Системы управления электроприводов.: учебное пособие / О. П. Мальцева, Л. С. Удут, Н. В. Кояин. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 152 с.
11. Мустафин Ф. М. Трубопроводная арматура. Учебное пособие для вузов. – Уфа: ГУП РБ УПК, УГНТУ, 2007. – 326 с.
12. Трубопроводная арматура, запорная арматура – общие требования [электронный ресурс], режим доступа <http://vark.ru>, свободный, 30.10.09г.

13. Трубопроводная арматура – техническая информация [электронный ресурс], режим доступа [http:// vkomplekt.spb.ru > tech_info/tech_info_trub.htm](http://vkomplekt.spb.ru/tech_info/tech_info_trub.htm), свободный, 21.11.09 г.
14. Испытания трубопроводной арматуры [электронный ресурс], режим доступа [http:// fittings.ru > page/11-4000_1_b-2473.html](http://fittings.ru/page/11-4000_1_b-2473.html), свободный, 18.12.09 г.
15. Использование нанотехнологий [электронный ресурс], режим доступа [http:// valve-industry.ru > pdf_site/65/65-tech-obr-...](http://valve-industry.ru/pdf_site/65/65-tech-obr-...), свободный, 05.01.10 г.
16. Нанесение износостойкого покрытия на трубопроводную арматуру [электронный ресурс], режим доступа [http:// plasmacentre.ru > works/18.php](http://plasmacentre.ru/works/18.php), свободный, 06.01.10 г.
17. Механические передачи с промежуточными телами повышенной долговечности и точности./ А.Е.Беляев Томск, ТПИ, 1986.
18. Электроприводы взрывозащищенные [электронный ресурс], режим доступа [http:// santehs.ru > product,17507](http://santehs.ru/product,17507), свободный, 07.01.10 г.
19. Выбор электропривода для запорной арматуры [электронный ресурс], режим доступа [http:// valve-industry.ru > pdf_site/40/40_filipov](http://valve-industry.ru/pdf_site/40/40_filipov), свободный, 07.01.10 г.
20. ГОСТ 27. 002 – 89 [электронный ресурс], режим доступа [http:// docload.ru > Basesdoc/4/4737/index.htm](http://docload.ru/Basesdoc/4/4737/index.htm), свободный, 08.01.10 г.
21. Обеспечение надежности работы радиоэлектронной аппаратуры [электронный ресурс], режим доступа [http:// revolution.allbest.ru > radio/00319521_0.htm](http://revolution.allbest.ru/radio/00319521_0.htm), свободный, 08.01.10 г.
22. Техническое регулирование и промышленная безопасность. Магистральные трубопроводы / под ред. А. И. Владимирова, В. Я. Кершенбаума. М.: Национальный институт нефти газа, 2004. 364 с.
23. Помехоустойчивые устройства: Электроника, статьи [электронный ресурс], режим доступа [http:// oit.itp.nsc.ru > modules/myarticles/article.php](http://oit.itp.nsc.ru/modules/myarticles/article.php), свободный, 12.01.10 г.

24. Langraf S.V., Obraztsov K.V. Optimization of vector control system induction motor drives. Modern techniques and technologies. MTT-2006. Proceedings of the 12-th International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, 27-31 March, 2006 Tomsk, Russia. TPU. – P. 68-70.
25. Ключев В.И. Теория электропривода: Учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
26. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. - Екатеринбург: УРО РАН, 2000. - 654 с.
27. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высшая школа, 2001. – 274 с.
28. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
29. Пастухов В.В, Моделирование в электромеханике [электронный ресурс], режим доступа [http:// twirpx.com](http://twirpx.com) > [file/98655/](http://twirpx.com/file/98655/), свободный, 20.01.10 г.
30. Clarke & Park Transforms on the TMS320C2XX [электронный ресурс], режим доступа [http:// focus.ti.com](http://focus.ti.com) > [lit/an/bpra048/bpra048.pdf](http://focus.ti.com/lit/an/bpra048/bpra048.pdf), свободный, 27.01.10 г.
31. Планетарные, волновые и зубчатые передачи [электронный ресурс], режим доступа [http:// revolution.allbest.ru](http://revolution.allbest.ru) > [Производство и технологии>00262609_0.html](http://revolution.allbest.ru/Производство_и_технологии/00262609_0.html), свободный, 30.01.10 г.

Приложение А

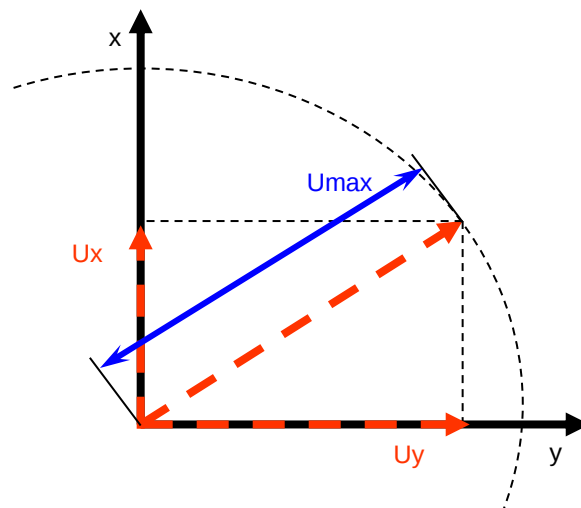
3.6 Development of nonlinear system of the asynchronous electric drive with vector management

3.6.1 Restrictions in the asynchronous electric drive with vector management

Introduction of restriction at the exit of regulators in the asynchronous electric drive with vector management is necessary for:

- restrictions of the maximum amplitude of tension brought to windings asynchronous motor ($U_{MAX} = 311B$);
- restrictions of the currents proceeding in stator windings asynchronous motor;
- restriction of the moment developed on a shaft asynchronous motor.

The recommendations given for a task of level of restrictions on an exit of regulators of current.



$$U_X \approx 0,312 \cdot U_{MAX}$$

$$U_Y \approx 0,95 \cdot U_{MAX}$$

Figure 35 – Restrictions at the exit of regulators of current

U_X - formation of a magnetic flux to asynchronous motor,

U_Y - formation of the moment on a shaft asynchronous motor.

U_X and U_Y value can be changed, the main thing that the condition was met: $\sqrt{U_X^2 + U_Y^2} \leq U_{MAX}$.

In this case such values have been accepted:

$$U_X = 0,312 \cdot U_{MAX}$$

$$U_Y \approx 0,98 \cdot U_{MAX}$$

Recommendations for a task of level of restrictions at the exit of regulators of speed and flux linkage.

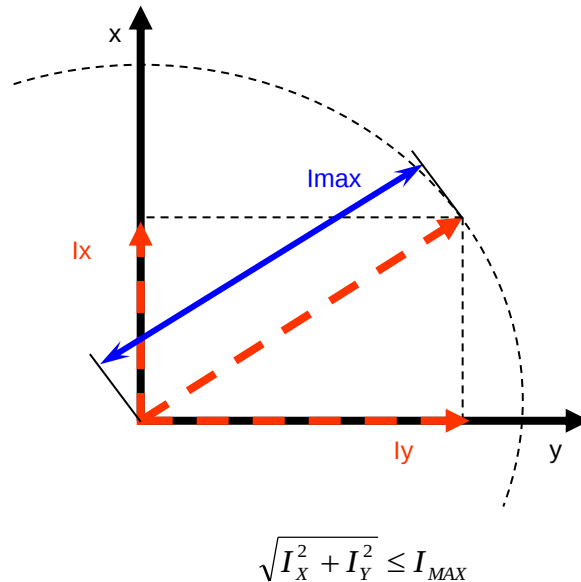


Figure 36 – Restrictions at the exit of regulators of speed and flux linkage

I_X - the magnetizing part of a component of current of the stator asynchronous motor.

I_Y - the component is proportional to the moment effort developed on a shaft HELL.

I_{MAX} - the maximum current of the stator asynchronous motor, quickly we allow overloads from $2..3 I_{HOM}$.

$I_{X MAX}$ - restriction with the magnetizing stator current component asynchronous motor, $1,5...2 I_{HOM}$.

$I_{Y MAX}$ - defines the maximum moment developed on a shaft asynchronous motor, $2...3 I_{HOM}$.

In this case such values have been accepted:

$$I_{X MAX} = 2 \cdot I_{HOM}$$

$$I_{Y MAX} = 3 \cdot I_{HOM}$$

3.6.2 Adaptation of a control system to non-linearity

At the exit of regulators leads introductions of restrictions to change of nature of the transition processes received earlier by optimization. For reduction of a picture of transition processes to a satisfactory look additional changes of the block diagram of a control system are required. For what undertake the following measures:

- use of PI-regulators with a possibility of correction integrated saturation.
- installation of control point adjustments of intensity in the entrance operating channels for formation of smooth change of tasks on the speed and flux linkage.

3.6.3 Correction of integral saturation

Integrated saturation arises when PI - or the PID-regulator during the long time has to compensate the mistake lying outside the range of the operated variable.

As an exit of the regulator is limited, it is extremely difficult to bring a mistake to naught that leads to reregulation, a variability, software PP.

We realize restriction of regulators with the help: a link of saturation and feedback which corrects интегрирующею a component at entry of the regulator into the saturation mode.

The block diagram of the PI-regulator with restriction on output value is given in drawing 37.

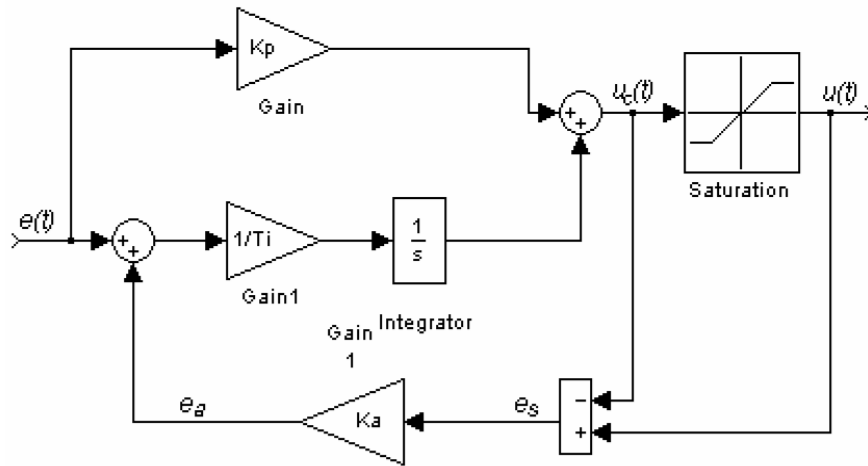
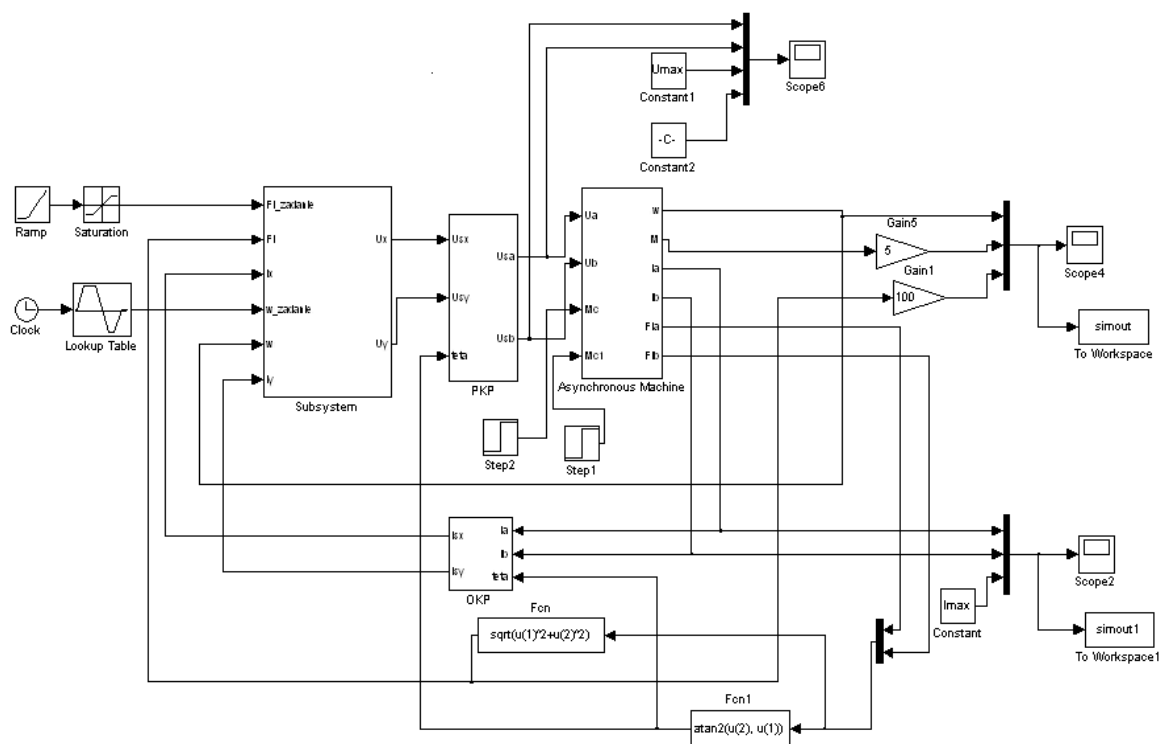


Figure 37 – The block diagram of the PI-regulator with restriction on output value

The scheme works as follows: On an entrance of the regulator the signal $e(t)$ (an error of adjustable size) is given. Signal $e(t)$ in proportion increases by coefficient and arrives on the adder, but at the same time $e(t)$ comes to an integration branch where it is summarized with a signal of feedback of correction of an integrated component which until saturation is equal “0”. Then about the corrected signal on integration $e(t) + e_a$, it is multiplied on $1/T_i$, integrated and summarized from a proportional component. Further not the limited signal of the PI-regulator comes on the block of restriction and to feedback of correction of integrated saturation. In a timepoint when the regulator hasn't entered saturation yet $e_a = 0$, but as soon as the regulator enters the saturation mode e_a accepts negative value, a resultant signal $e(t) + e_a$ supported on zero. For receiving a correct signal of correction it is necessary to calculate coefficient correctly K_a .



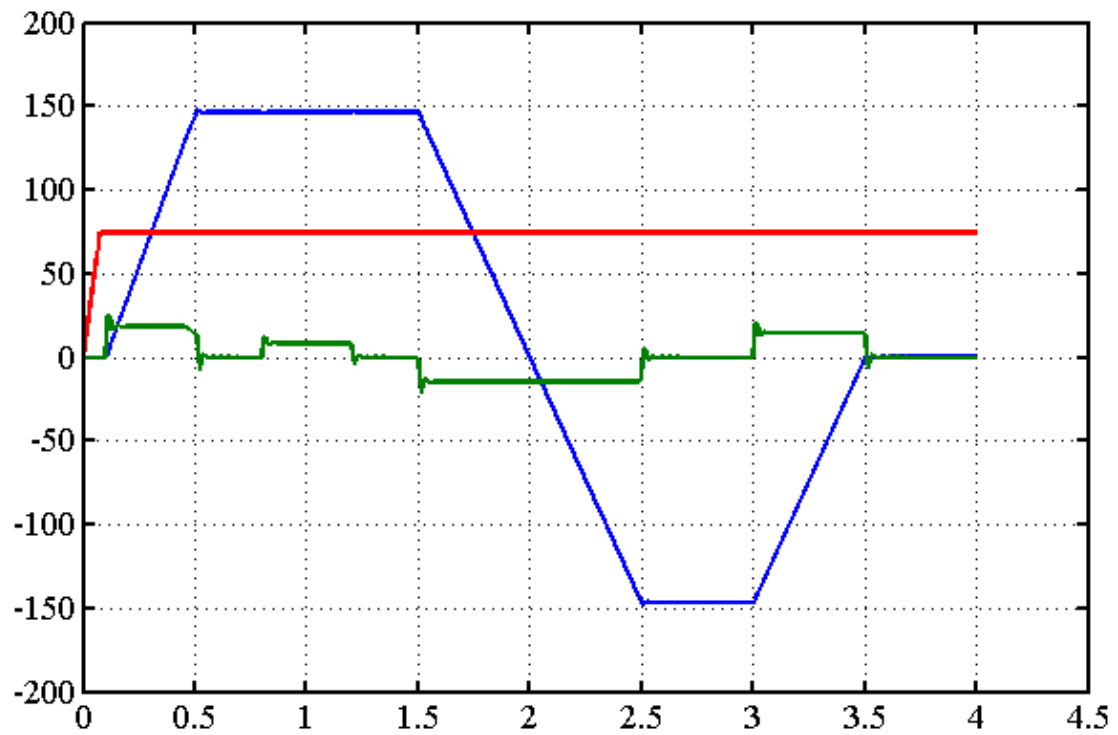


Figure 39 – Transition processes of speed, the moment and flux linkage in dynamic operating modes

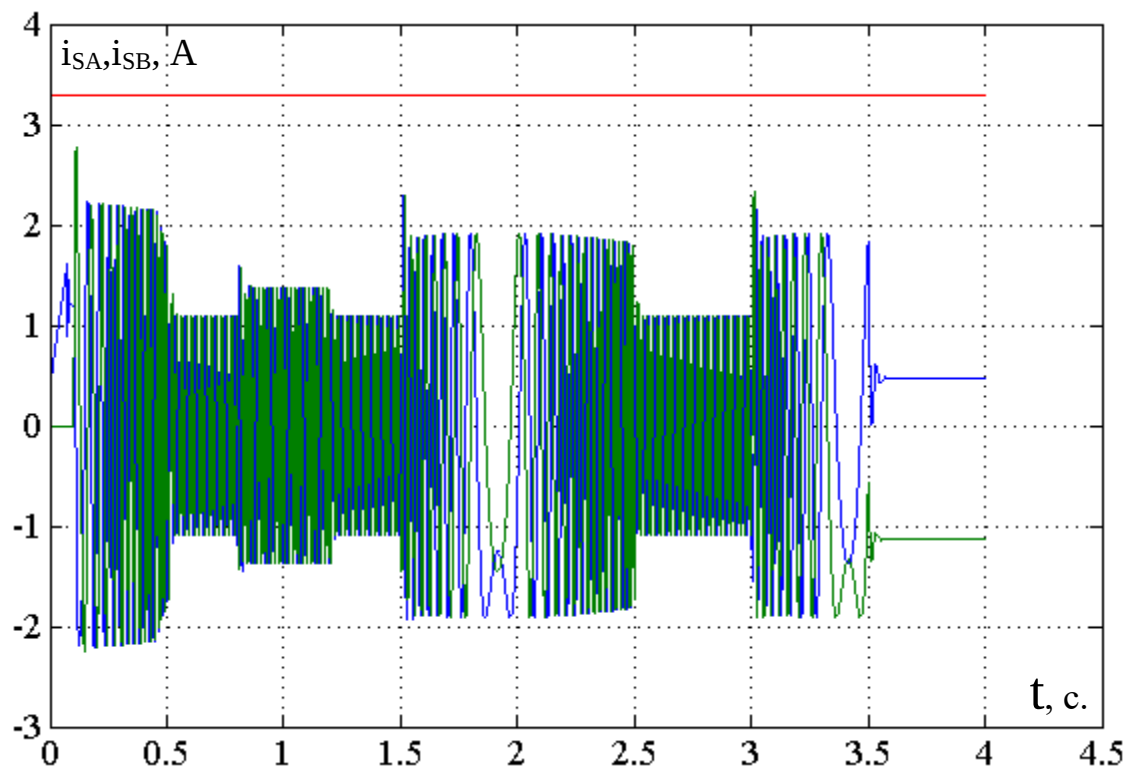


Figure 40 – Transition processes of currents of the stator i_{SA} , i_{SB} in dynamic operating modes

Figure 40 shows what phase currents doesn't exceed admissible value, so parameters of restriction have been chosen truly.

In the course of synthesis of system of vector management transfer functions of contours of regulation of current, flux linkage, speed are received. The error between the expected and received indicators of quality doesn't exceed 10 percent that allows to judge right control of contours of regulation. The contour of speed has been received with an admissible error as bigger value of a small constant of time of a contour of speed is taken ($T_{\mu c} = 32 \cdot T_{\mu r}$), to compensate mutual influence of contours of speed and flux linkage. Adaptation of a control system to non-linearity is realized by use of PI-regulators with a possibility of correction of integrated saturation that allows to lower a variability and to reduce time of transition process. These properties of system will positively affect the electric drive at research of the dynamic modes.

Conclusion

For research of the dynamic modes the electric drive meeting the imposed requirements has been chosen. Basic elements of the electric drive are considered, namely:

- asynchronous electric motor. Mathematical and imitating modeling is carried out. Adequacy of this model to the real engine by comparison of settlement and graphic data is checked. The error of this check doesn't exceed 12 percent that speaks about adequacy of model and gives the chance to use her further.

- reducer of wave type. The principle of action of wave transfer and imitating model of a reducer is described. Comparison of traditional wave transfers with gear gearing with the transfers using intermediate bodies of swing is carried out.

- system of vector control of the asynchronous electric motor.

Stage-by-stage synthesis of contours of a control system is made (current, flux linkage, speed). Comparison of indicators of quality with the expected has

shown that the error doesn't exceed 10 percent. This error is admissible. The system is adapted to not linearities with use of correction of integrated saturation.

Research of the dynamic modes was conducted by comparison of experimental data with results of modeling. For improvement of dynamic properties of system it is offered to use curve tasks for speed and the moment of the drive. Curves are received in the graphic way in the program Advanced Grapher environment. These control point adjustments will allow compensating the influence of non-linearity, it is more rational to use a power supply resource. Graphic data allow to judge that curve tasks for speed and the moment allow to avoid such phenomena as hydrodynamic blow in process of opening/closing of fittings, reduce fluctuations of the moment of the electric drive when braking more than twice, give the chance to prevent damage of a design of shutoff valves at sharp failure after long idle standings.