

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Лабораторный практикум



Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Институт энергетики и электротехники
Кафедра «Электрооборудование автомобилей и электромеханика»

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Лабораторный практикум

Составитель В.А. Денисов

Тольятти
Издательство ТГУ
2012

УДК 62-83:681.51(075.8)

ББК 31.291

Э455

Рецензенты:

д.т.н., профессор Поволжского государственного университета
сервиса *В.В. Иванов*;

к.т.н., профессор Тольяттинского государственного университета
В.В. Ермаков.

Научный редактор к.т.н. М.Н. Третьякова.

Э455 Электроприводы переменного тока с частотным управлением : лабораторный практикум / сост. В.А. Денисов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 75 с.

Изложена методика экспериментальных исследований и исследований средствами виртуальной матричной лаборатории MATLAB&Simulink систем управления электроприводами. Приведены краткие теоретические сведения и описания лабораторных стендов, а также цели и программы для выполнения цикла лабораторных работ по курсам «Системы управления электроприводами» и «Автоматизированный электропривод». Даны указания для подготовки к лабораторным работам и вопросы для самоконтроля.

Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 140400.62 «Электроэнергетика и электротехника» очной и заочной форм обучения.

УДК 621-83: 681.51.075.8

ББК 31.291

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© ФГБОУ ВПО «Тольяттинский
государственный университет», 2012

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время электропривод с двигателями переменного тока и частотным управлением решительно захватывает в промышленности позиции, ранее принадлежавшие только электроприводу постоянного тока. Это объясняется успехами, достигнутыми как в теории электропривода, так и в области силовой полупроводниковой электроники, микроэлектроники и микропроцессорной техники. Простота конструкции, малая инерционность ротора, более высокая надежность, возможность работы в условиях повышенных температур, влажности и запыленности, а также во взрывоопасных средах позволяют использовать такие электроприводы в самых разнообразных сферах производства и жизнеобеспечения.

В связи с этим практическое изучение и исследование электроприводов переменного тока с частотным управлением в лабораторных условиях является актуальной задачей при подготовке специалистов современного уровня.

Настоящий лабораторный практикум содержит материалы для семи лабораторных работ по электроприводам переменного тока с частотным управлением по дисциплине «Системы управления электроприводами». В лабораторных работах рассмотрены вопросы экспериментальных исследований и исследований средствами виртуальной матричной лаборатории MATLAB&Simulink статических и динамических режимов работы электроприводов с вентильным и асинхронным двигателями и различными типами частотных преобразователей. Каждая лабораторная работа включает краткие теоретические сведения, описание лабораторных стендов, порядок выполнения работы, содержание отчета и контрольные вопросы. Выполнение лабораторных работ предполагает самостоятельное предварительное изучение методических материалов и рекомендуемых тем литературных источников, а также проведение необходимых расчетов и построения схем моделирования.

Лабораторная работа 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Цели работы: практическое изучение режимов работы электропривода с вентильным двигателем и экспериментальные исследования его статических и динамических характеристик.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо по учебникам и конспектам лекций изучить тему «Система управления электроприводом с вентильным двигателем» [1; 2].

Основные элементы электропривода и описание лабораторного стенда

1. Основные элементы электропривода

В приведённой схеме (рис. 1.1) статорные обмотки синхронной машины *SM* получают питание от силового преобразователя *UM*.

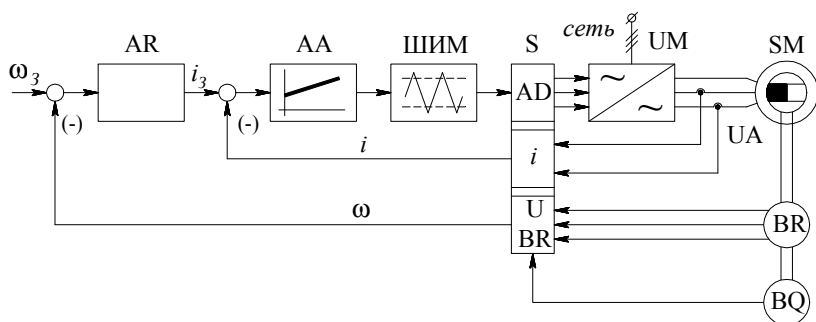


Рис. 1.1. Функциональная схема электропривода с вентильным двигателем

Управление *UM* производится от широтно-импульсного модулятора ШИМ в функции угла поворота ротора *SM*. Переключение осуществляется через электронный коммутатор *S* по сигналам от датчика *BQ* положения ротора. ШИМ преобразовывает постоянное аналоговое напряжение в бинарный (широтно-импульсный) сигнал, скважность которого пропорциональна величине входного сигнала. Бинарный сигнал с помощью *S* управляет силовыми ключами преобразователя

УМ. Для обеспечения заданных статических и динамических характеристик работы электропривода в схеме используется отрицательная обратная связь по току и скорости вращения. Первая осуществляется посредством датчика тока *UA* и регулятора тока *AA*, вторая – посредством тахогенератора *BR* и регулятора скорости *AR*.

Электромеханический блок вентильного двигателя

Электромеханический блок вентильного двигателя содержит синхронную машину *SM*, бесконтактный тахогенератор *BR* и датчик *BQ* положения ротора, которые расположены в одном корпусе и на одном валу. Конструкция соответствует роду защиты *IP65* и нечувствительна к загрязнению, парам жидкости и агрессивной атмосфере.

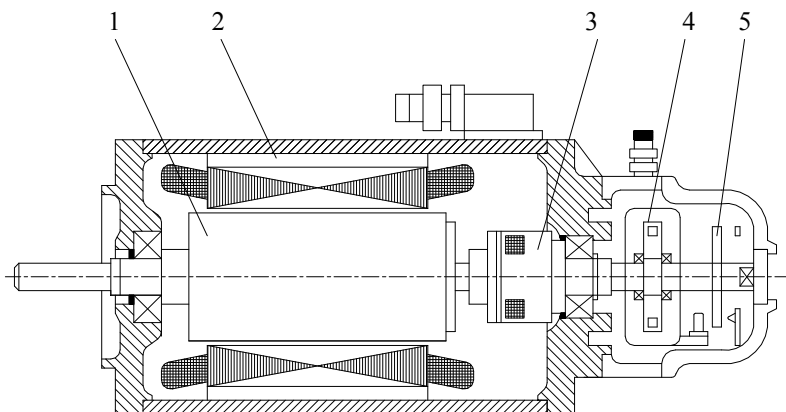


Рис. 1.2. Электромеханический блок вентильного двигателя

На рис. 1.2 показан один из вариантов конструкции электромеханического блока вентильного двигателя. На общем валу блока расположены ротор 1 машины *SM* и тормозной диск электромагнитного тормоза 3. Статор 2 машины *SM* содержит трёхфазную обмотку с числом пар полюсов $p = 3...4$, уложенную в пазы шихтованного магнитопровода с числом зубцов, кратным числу полюсов ротора. На одной оси с ротором расположен тахогенератор 4. Ротор тахогенератора установлен в отдельных опорах и на его валу закреплён диск 5 датчика угла поворота ротора. Блок не имеет быстроизнашивающихся узлов и деталей,

подшипники качения заполняются смазкой на весь срок службы, что позволяет исключить техническое обслуживание конструкции в целом.

В сравнении с машиной постоянного тока обмотка статора *SM* располагается на наружной поверхности, что разрешает более высокие значения токовых нагрузок.

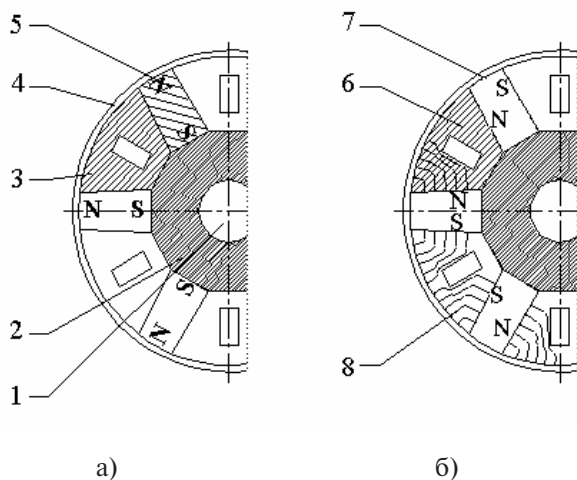


Рис. 1.3. Ротор вентильного двигателя с клиновидными диаметральными (а) и тангенциальными (б) магнитами

В качестве ротора наибольшее распространение получили роторы с диаметрально намагниченными магнитами (рис. 1.3,а). В этой конструкции на вал 1 ротора насажена стальная втулка 2 с приваренными к ней немагнитными клиньями 3, между которыми помещены магниты 5 на основе редкоземельных материалов (неодим – железо – бор), что обеспечивает требуемое значение магнитной индукции в воздушном зазоре.

Особенность изготовления ротора состоит в следующем. После размещения в пазах постоянных магнитов ротор раскручивают до скорости вращения, близкой к максимальной, с тем чтобы обеспечить заклинивание постоянных магнитов. После этого ротор шлифуется по наружной поверхности и напрессовывается под бандажные кольца 4. Данные эксплуатации такого ротора показывают, что надёжность крепления магнитов определяется прочностью сварки втулки 2 с клинья-

ми 3 и углом клиновидности, а не прочностью бандажных колец. Рекомендуемое значение одностороннего угла клиновидности составляет от двух до четырёх градусов.

Стремление повысить величину индукции в рабочем зазоре двигателя с постоянными магнитами привело к появлению конструкции ротора с тангенциально-намагниченными магнитами, обеспечивающими концентрацию магнитного потока. Магнитная система такого ротора показана на рис. 1.3,б. Ротор содержит постоянные магниты 7 и расположенные между ними клиновидные магнитопроводы 6, являющиеся концентраторами магнитного потока и полюсами магнитной системы. Это достигается тем, что соседние магниты обращены друг к другу противоположными полюсами. Силовые линии 8 магнитного потока, создаваемого каждым постоянным магнитом, замыкаются через поверхность, образованную половиной дуги магнитопровода 6. Следовательно, эффект концентрации потока достигается только в том случае, если поверхность полюса постоянного магнита превышает половину наружной поверхности клиновидного магнитопровода 6. Для единичной длины магнитной системы это условие выполняется, если ширина постоянного магнита превышает половину дуги клиновидного магнитопровода.

Трудность выполнения конструкции заключается в сложности сборки и крепления элементов магнитной системы, поскольку клиновидные магнитопроводы разноимённой полярности должны быть разобщены между собой в магнитном отношении во избежание шунтирования магнитного потока.

Датчик положения ротора синхронного машины

В конструктивном исполнении датчик (рис. 1.4,а) положения ротора *BQ* имеет пластиковый корпус 1 из пластикового композиционного материала, в котором установлены постоянный магнит 2 и через воздушный зазор от него элемент Холла или холловская микросхема с релейной характеристикой вход-выход. Управление датчиком *BQ* осуществляется введением в его воздушный зазор стальной диафрагмы.

При отсутствии в воздушном зазоре датчика *BQ* стальной диафрагмы 5 магнитный поток Φ от магнита 2 проходит через элемент Холла 3, его коллекторный выход открыт, и напряжение на выходе 4 отсутствует.

При введении в воздушный зазор диафрагмы 5 (рис. 1.4,б) магнитный поток не достигает элемента Холла 3, так как замыкается через

диафрагму. В результате этого коллекторный выход элемента закрыт, и на выходе 4 возникает напряжение.

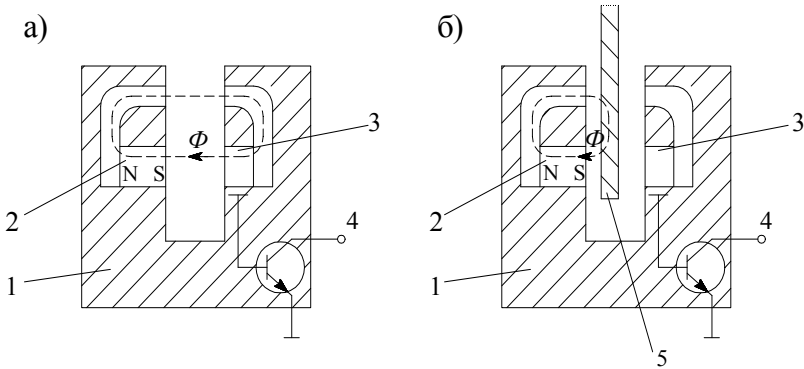


Рис. 1.4. Конструкция датчика положения ротора без диафрагмы (а) и с диафрагмой (б)

Таким образом, наличие в воздушном зазоре датчика BQ стальной диафрагмы, связанной с валом ротора SM , даёт возможность контролировать угловое положение ротора.

Бесконтактный тахогенератор BR

При двухфазном исполнении (рис. 1.5,а) статорные катушки 1 и 2 имеют точечное размещение внутри ярма 3 статора и пространственно сдвинуты между собой на 90° . Ротор машины состоит из постоянного магнита 4 и полюсных наконечников 5. При вращении ротора машины на выходе статорных катушек 1 и 2 образуются переменные напряжения u_1 и u_2 трапецевидной формы (рис. 1.5,б).

Амплитуда U и частота этих напряжений прямо пропорциональны скорости вращения ротора. Для преобразования переменных напряжений u_1 и u_2 используется электронный коммутатор SV (рис. 1.5,в), который по сигналам датчика положения ротора BQ осуществляет выборочное выпрямление напряжений u_1 и u_2 . В результате выборочного выпрямления в выходном напряжении $u = U$ исключаются фронты трапецевидных кривых составляющих u_1 и u_2 , что позволяет получить на выходе тахогенератора напряжение без пульсаций.

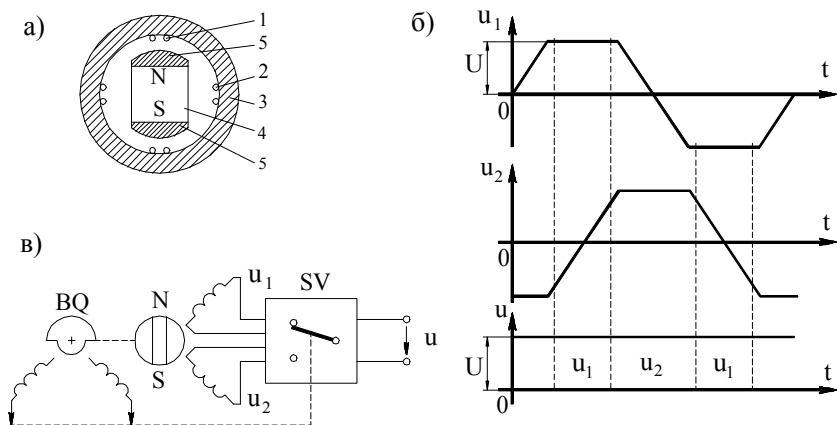


Рис. 1.5. Устройство машины (а), принципиальная схема (б) и эпюры напряжений бесконтактного тахогенератора (в)

Силовой преобразователь и особенности его работы

Силовой преобразователь *UM* питания *SM* (рис. 1.6) содержит силовой трансформатор *T*, неуправляемый выпрямитель *V*, узел ограничения напряжения *AUF*, накопительный конденсатор *C* и импульсный инвертор *UZ* на силовых транзисторах или транзисторных модулях.

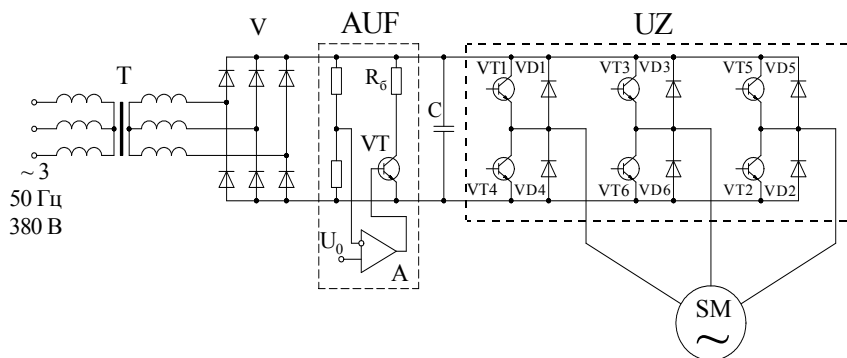


Рис. 1.6. Силовой преобразователь питания серводвигателя

В режиме торможения *SM* кинетическая энергия приведённых к валу *SM* масс превращается в электрическую энергию накопительного конденсатора *C*.

Для исключения перенапряжений на конденсаторе и в промежуточном контуре в схему UM включён узел ограничения напряжения AUF , в котором контроль напряжения производится компаратором A . При достижении критического напряжения промежуточного контура включается компаратор A , и транзистор VT подключает в цепь конденсатора C балластное сопротивление R_b . В результате напряжение промежуточного контура стремительно падает.

2. Описание лабораторного стенда

В лабораторный стенд входят испытуемый привод на базе вентильного двигателя и нагружающий электропривод постоянного тока с транзисторным преобразователем.

Внешний вид стенда показан на рис. 1.7.

Описание функциональной схемы испытательного стенда

Основной объект стенда – электропривод с вентильным двигателем, который состоит из преобразователя SIMODRIVE 6SC610 и испытуемого двигателя серии 1FT5 (рис. 1.8).

Нагрузкой для испытуемого двигателя является малоинерционный двигатель постоянного тока серии ДР мощностью 0,8 кВт, который через муфту соединяется с испытуемым двигателем.

Двигателем ДР-08 управляет транзисторный преобразователь ПТ150/20. Преобразователи SIMODRIVE 6SC61 и ПТ150/20 управляются с панели управления на стенде, где с помощью потенциометров создаются сигналы задания частоты вращения, сигналы задания нагружающего момента, сигналы деблокировки и растормаживания электродвигателей, имитирующие различные режимы работы электропривода.

О состоянии электроприводов можно судить по показаниям электроизмерительных приборов панели индикации. Амперметр показывает ток якоря двигателя постоянного тока, три фазовых вольтметра и три световых индикатора – состояние вентильного двигателя. Внешний модуль АЦП/ЦАП Е14-440, вход которого подключен к измерительным клеммам на панели управления, а выход соединен с шиной USB 1.1 компьютера, позволяет наблюдать и регистрировать переменные электроприводов (фактическое значение частоты вращения двигателя, заданное значение частоты вращения двигателя, фактический ток, заданное значение тока).

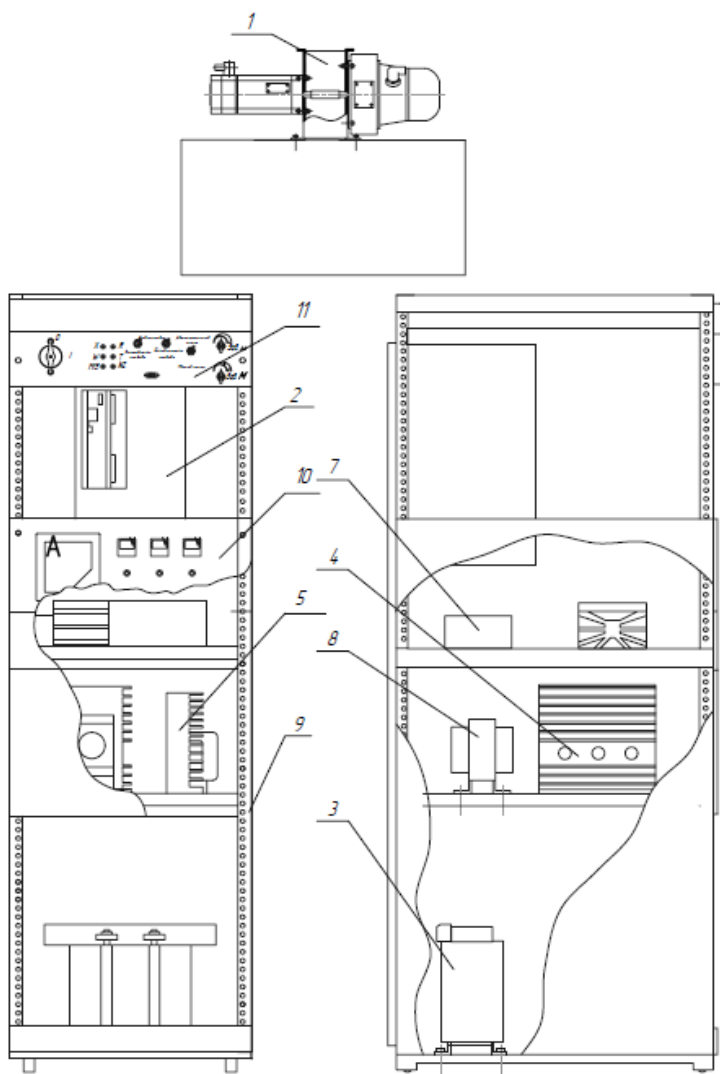


Рис. 1.7. Внешний вид лабораторного стенда: 1 – блок двигателей;
 2 – преобразователь транзисторный 6SC61; 3 – трансформатор 380/165;
 4 – преобразователь транзисторный ПТ150/20; 5 – блок питания БП150/180;
 6 – блок питания 24 В; 7 – блок предохранителей; 8 – трансформатор 380/220;
 9 – электромонтажный шкаф; 10 – панель индикации;
 11 – панель управления

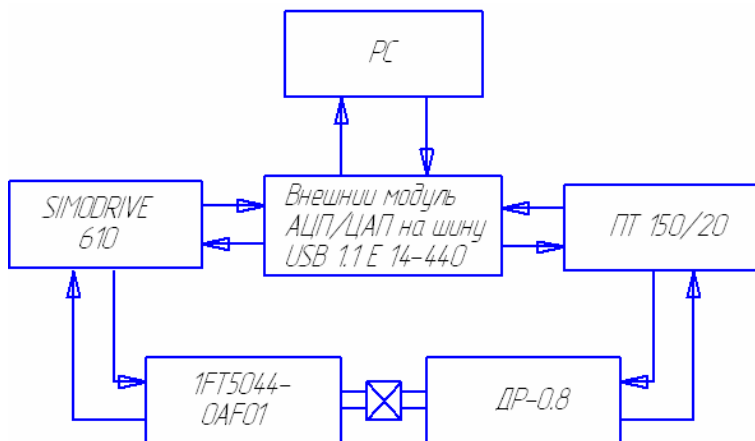


Рис. 1.8. Функциональная схема лабораторного стенда

Основная электропроводка сосредоточена в электромонтажном шкафу. Там же располагается и коммутационное оборудование.

Имитация статической нагрузки осуществляется следующим образом. Поскольку двигатель ДР-0,8 через муфту жестко соединен с испытуемым двигателем, то при вращении последнего в обмотках двигателя ДР-0,8 при отсутствии напряжения задания будет наводиться электродвижущая сила $E_{др}$. В зависимости от напряжения задания U_z в преобразователе ПТ150/20 будет формироваться ЭДС $E_{пр}$.

Если $E_{пр} > E_{др}$, то двигатель ДР-0,8 будет раскручивать испытуемый двигатель.

Если $E_{пр} = E_{др}$, то двигатель ДР-0,8 не будет оказывать никакого влияния на испытуемый двигатель.

Если $E_{пр} < E_{др}$, двигатель ДР-0,8 будет тормозить испытуемый двигатель, т. е. выступать в качестве нагрузки.

Таким образом, испытательный стенд позволяет имитировать широкий диапазон нагрузок, исследовать поведение испытуемого двигателя, проводить оптимальную настройку параметров вентильного электропривода.

Панели управления и индикации

Для управления и снятия показаний предусмотрены панели управления индикации. Панель управления (рис. 1.9) расположена на пере-

дней части испытательного стенда и предназначена для режима ручного управления и подключения измерительной аппаратуры.

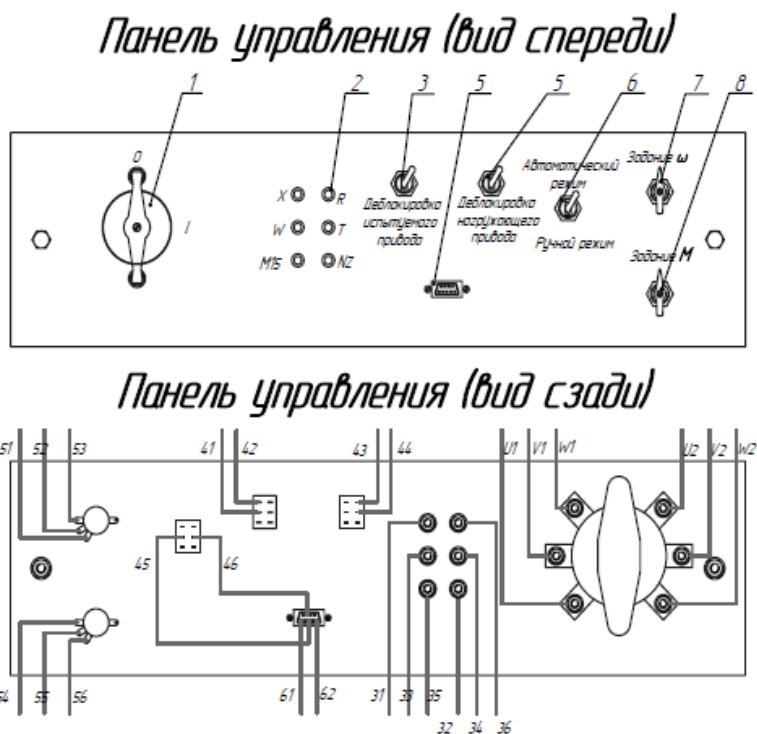


Рис 1.9. Внешний вид панели управления

На панели управления расположены: 1) пакетный выключатель, осуществляющий включение стенда; 2) измерительные клеммы, которые, в свою очередь, соединены с соответствующими выходами испытуемого электропривода (X – фактическое значение частоты вращения двигателя, R – заданное значение частоты вращения двигателя; W – фактический ток; T – заданное значение тока; M15 – масса) для снятия текущих параметров привода; 3) тумблер включения деблокировки испытуемого привода, подает сигнал деблокировки на испытуемый привод; 4) тумблер включения деблокировки нагружающего привода, подает сигнал деблокировки на нагружающий привод; 5) тумблер пере-

ключения между ручным и автоматическим режимами работы испытательного стенда, осуществляет переключения между ручным и автоматическим режимами работы испытательного стенда. В автоматическом режиме сигналы задания частоты вращения, сигналы задания нагружающего момента, сигналы деблокировки и растормаживания электроприводов, имитирующие режимы работы электропривода, поступают от программы компьютера через внешний модуль АЦП/ЦАП Е14-440; 6) разъем для подключения внешнего модуля АЦП/ЦАП Е14-440; 7) регулятор задания скорости, осуществляет задание скорости на испытуемом приводе в ручном режиме работы стенда; 8) регулятор задания момента, осуществляет задание момента на нагружающем приводе в ручном режиме работы стенда.

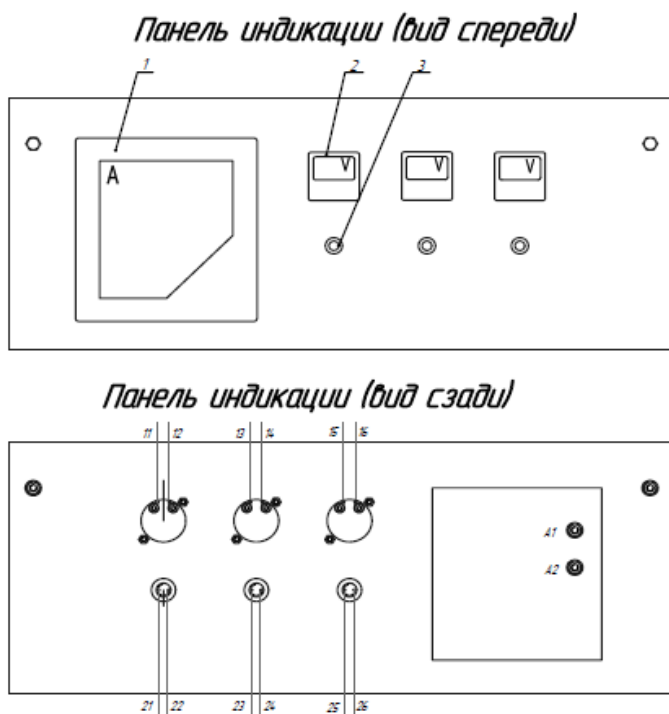


Рис. 1.10. Панель индикации

Панель индикации (рис. 1.10) расположена на передней части испытательного стенда и предназначена для контроля за состоянием электроприводов.

На панели расположены:

- 1) амперметр, показывающий ток якоря двигателя постоянного тока;
- 2) три фазовых вольтметра, показывающих напряжение на фазах вентильного двигателя;
- 3) три световых индикатора, показывающих наличие напряжения на фазах вентильного двигателя.

Программа работы

1. Изучить функциональную схему электропривода с вентильным двигателем, а для принципиальной схемы преобразователя составить диаграмму работы.

2. Устранить дрейф нуля регулятора скорости вращения.

3. Произвести изменение скорости вращения испытуемого двигателя в ручном режиме с панели управления.

4. Осуществить пуск двигателя и снять экспериментальные характеристики $\omega = f(t)$ и $i = f(t)$.

5. Осуществить ступенчатое изменение момента нагрузки в соответствии с вариантом задания и снять экспериментальные характеристики $\omega = f(t)$ и $i = f(t)$.

6. Определить показатели качества переходных характеристик.

7. Сделать выводы по проделанной работе.

Указания и пояснения к выполнению работы

1. В соответствии со схемой проверяем правильность подключения оборудования и выставляем задания момента и скорости на нуль.

2. Пакетный выключатель включения стенда ставим в положение «1».

3. Включаем деблокировку испытуемого привода (при нулевом задании момента и скорости).

4. С помощью потенциометра R120 в пределах ± 30 мВ выравниваем дрейф нуля регулятора скорости вращения, т. е. добиваемся того, чтобы вал двигателя был неподвижен.

5. Выключаем деблокировку испытуемого привода.

6. Производим изменение скорости вращения испытуемого двигателя в ручном режиме с панели управления.
7. Убеждаемся в том, что задания момента и скорости установлены на нуль.
8. Включаем деблокировку испытуемого привода (при нулевом задании момента и скорости).
9. Подключаем внешний модуль АЦП/ЦАП Е14-440 на шину USB.
10. Устанавливаем значение скорости в соответствии с вариантом задания.
11. Выключаем деблокировку и осуществляем пуск испытуемого привода.
12. Наблюдаем и регистрируем характеристики $\omega = f(t)$ и $i = f(t)$.
13. Включаем деблокировку испытуемого привода.
14. Устанавливаем значение момента по току якоря на панели индикации в соответствии с вариантом задания.
15. Включаем деблокировку нагружающего привода и осуществляем пуск двигателя.
16. Выключаем деблокировку нагружающего привода. Наблюдаем и регистрируем характеристики $\omega = f(t)$ и $i = f(t)$.
17. Включаем деблокировку испытуемого и нагружающего приводов.
18. Пакетный выключатель включения стенда ставим в положение «0».
19. Показатели качества процессов определяем по осциллограммам.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Функциональная схема электропривода и принципиальная схема силовой части преобразователя.
4. Кривые переходных процессов при пуске электропривода и ступенчатом изменении нагрузки.
5. Электромеханические характеристики электропривода.
6. Анализ качества снятых характеристик.
7. Выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких основных элементов состоит вентильный двигатель?
2. Устройство датчика положения ротора.
3. Принцип работы бесконтактного тахогенератора.
4. Назначение транзисторного импульсного инвертора.
5. Для чего в вентильном двигателе используется датчик положения ротора?
6. Как осуществляется регулирование скорости вращения двигателя?
7. Почему вентильный двигатель называют бесконтактным двигателем постоянного тока?
8. Поясните, как можно осуществить смену направления вращения ротора?
9. Характер изменения вращающего момента при переключении транзисторов инвертора.
10. Влияние числа пар полюсов вентильного двигателя на равномерность движения его ротора.

Лабораторная работа 2

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Цель работы – практическое изучение работы асинхронного электропривода с частотным управлением на базе преобразователя MICROMASTER.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо по учебникам и конспектам лекций изучить частотное и векторное управление асинхронными двигателями и транзисторные преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока [1; 2].

Силовая схема электропривода и описание лабораторного стенда

1. Силовая схема электропривода

Силовая схема электропривода с частотным управлением (рис. 2.1) включает входной реактор L , неуправляемый выпрямитель UV , фильтр C , защитное устройство UW и автономный инвертор UZ , подключенный к статору асинхронного двигателя M с короткозамкнутым ротором.

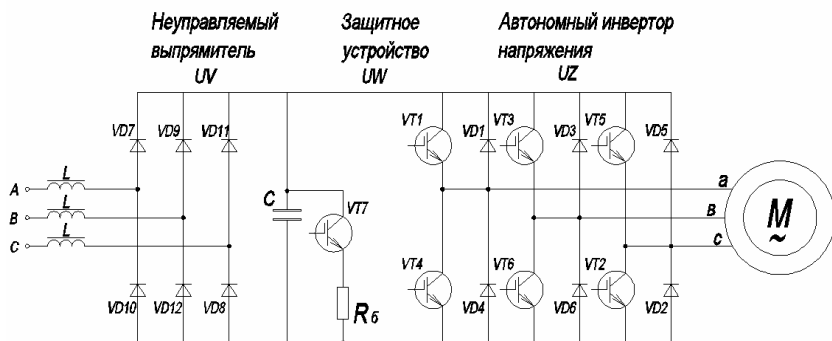


Рис. 2.1. Силовая схема электропривода с частотным управлением

Мостовой инвертор UZ содержит три плеча с транзисторными ключами $VT1...VT6$, к средним точкам которых подключены фазные статорные обмотки двигателя. Представленная схема не позволяет обеспечить двухсторонний обмен энергией между сетью и двигателем, так как

в ней используется неуправляемый выпрямитель UV . В связи с этим при генераторном торможении отдаваемая двигателем энергия рассеивается в элементах инвертора и резисторе R_o защитного устройства, которое подключается к конденсатору C через транзисторный ключ $VT7$. В тех случаях, когда для осуществления торможения выгоден режим отдачи энергии торможения в сеть, необходимо вместо неуправляемого выпрямителя UV включить в схему активный выпрямитель напряжения. Активный выпрямитель по своей структуре идентичен схеме автономного инвертора и позволяет обеспечивать не только рекуперативное торможение, но и работу преобразователя с заданным значением коэффициента мощности.

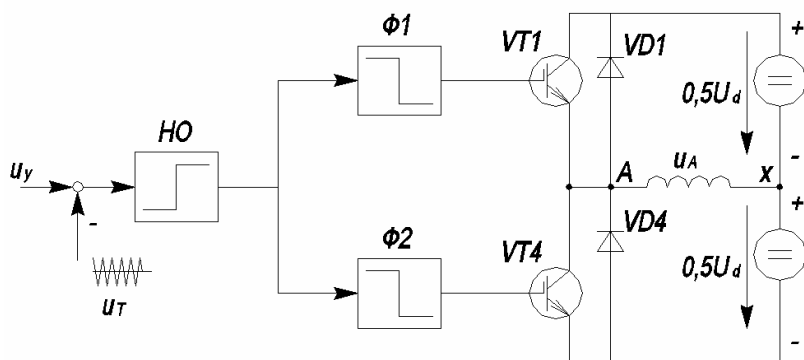


Рис. 2.2. Схема одной фазы инвертора с широтно-импульсной модуляцией

Для приближения тока статора по форме к синусоидальной применен автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). При этом ШИМ обеспечивает не только формирование широтно-импульсного напряжения на выходе автономного инвертора, но и регулирование амплитуды этого напряжения. Преобразователи с ШИМ выпускаются рядом ведущих фирм с конца XX века, когда успехи, достигнутые в области полупроводниковой техники, позволили начать выпуск нового поколения транзисторов и модулей типа MOSFET и IGBT.

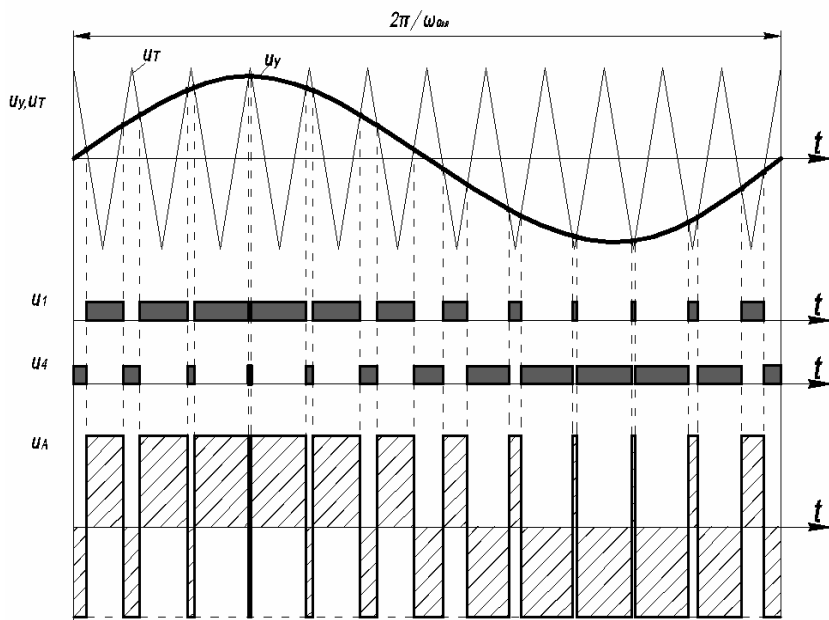


Рис. 2.3. Диаграмма напряжений фазы инвертора при синусоидальной широтно-импульсной модуляции

Принцип формирования синусоидального тока с помощью ШИМ можно пояснить на примере работы одной фазы автономного инвертора (рис. 2.2). Фаза обмотки A -х статора двигателя включена между точкой соединения транзисторных ключей $VT1$ и $VT4$ фазы инвертора и искусственной средней точкой источника питания. Система управления транзисторными ключами содержит в своем составе нуль-орган (НО) и формирователи управляющих импульсов $\Phi 1$ и $\Phi 2$. На входе нуль-органа сравниваются задающее напряжение u_y синусоидальной формы заданной частоты $\omega_{ом}$ и треугольное опорное напряжение u_T .

При таком управлении выходное напряжение инвертора представляет собой последовательность положительных и отрицательных импульсов высотой $\frac{1}{2}U_d$, площадь которых пропорциональна синусоидальной функции (рис. 2.3). В системе управления инвертором должна существовать кратковременная задержка между замыканием одного

ключа и замыканием другого для восстановления запирающих свойств транзистора, выходящего из работы. Первая гармоника выходного напряжения u_A соответствует по форме управляющему сигналу u_y . Изменение частоты и амплитуды u_y будет приводить к изменению частоты и амплитуды напряжения u_A .

В процессе изменения частоты f_s необходимо также изменять напряжение U_s на статоре двигателя. Нужное соотношение между частотой и напряжением обеспечивает закон частотного управления:

$$\frac{U_s}{U_{SH}} = \frac{f_s}{f_{SH}} \cdot \sqrt{\frac{M_c}{M_{CH}}}. \quad (2.1)$$

Из уравнения (2.1) следует, что для обеспечения постоянства перегрузочной способности двигателя необходимо изменять напряжение пропорционально частоте и корню квадратному от момента нагрузки.

В системах электропривода широко используются три частных случая частотного управления: управление при постоянном моменте, при постоянной мощности и при вентиляторной нагрузке.

В первом случае $M_c = M_{CH} = \text{const}$ уравнение (2.1) упрощается и принимает вид

$$\frac{U_s}{U_{SH}} = \frac{f_s}{f_{SH}} \text{ или } \frac{U_s}{f_s} = \text{const}. \quad (2.2)$$

Во втором случае мощность нагрузки на валу двигателя постоянна и равна номинальной, т. е. $P_c = P_H$. Тогда $M_c = \frac{P_H}{\omega}$, а $M_{CH} = \frac{P_H}{\omega_H}$. Если допустить, что скорость вращения ротора пропорциональна угловой частоте статора, то получим:

$$\frac{U_s}{U_{SH}} = \sqrt{\frac{f_s}{f_{SH}}} \text{ или } \frac{U_s}{\sqrt{f_s}} = \text{const}. \quad (2.3)$$

В случае регулирования при вентиляторной нагрузке $M_c = c \cdot \omega^2$

$$\frac{U_s}{U_{SH}} = \frac{f_s^2}{f_{SH}^2} \text{ или } \frac{U_s}{f_s^2} = \text{const}. \quad (2.4)$$

Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном управлении для трех рассмотренных случаев показаны на рис. 2.4.

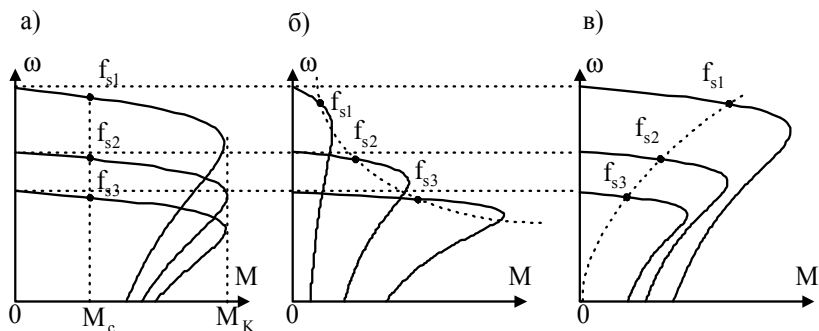


Рис. 2.4. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном управлении: $M_c = \text{const}$ (а), $P_c = \text{const}$ (б) и $M_c = c \cdot \omega^2$ (в)

2. Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда входят:

1. Преобразователь MICROMASTER (ф. SIEMENS) 6SE3221 – 5DC40, имеет следующие характеристики:

мощность	– 7,5 кВт;
сетевое напряжение	– 380–480 В ± 10% 3 фазы;
уровень защиты	– IP55 (инвертор IP56);
диапазон температур	– от 10 до 40° С;
способность выдерживать перегрузку	– 150% в течение 60 с;
диапазон выходной частоты	– от 0 до 120 Гц.

2. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором 4A71B4УЗ.

3. Панель и пульт управления.

Преобразователь частоты (рис. 2.5) состоит из неуправляемого выпрямителя, защитного устройства и автономного инвертора *АИ*. Управление выходной частотой (скоростью двигателя) может осуществляться одним из способов (клеммы цепей управления представлены на рис. 2.6):

- 1) цифровым заданием частоты;
- 2) аналоговым заданием частоты;
- 3) внешним потенциометром, управляющим скоростью двигателя;
- 4) последовательным интерфейсом.

От преобразователя напряжение по кабелю поступает на асинхронный двигатель *М*.

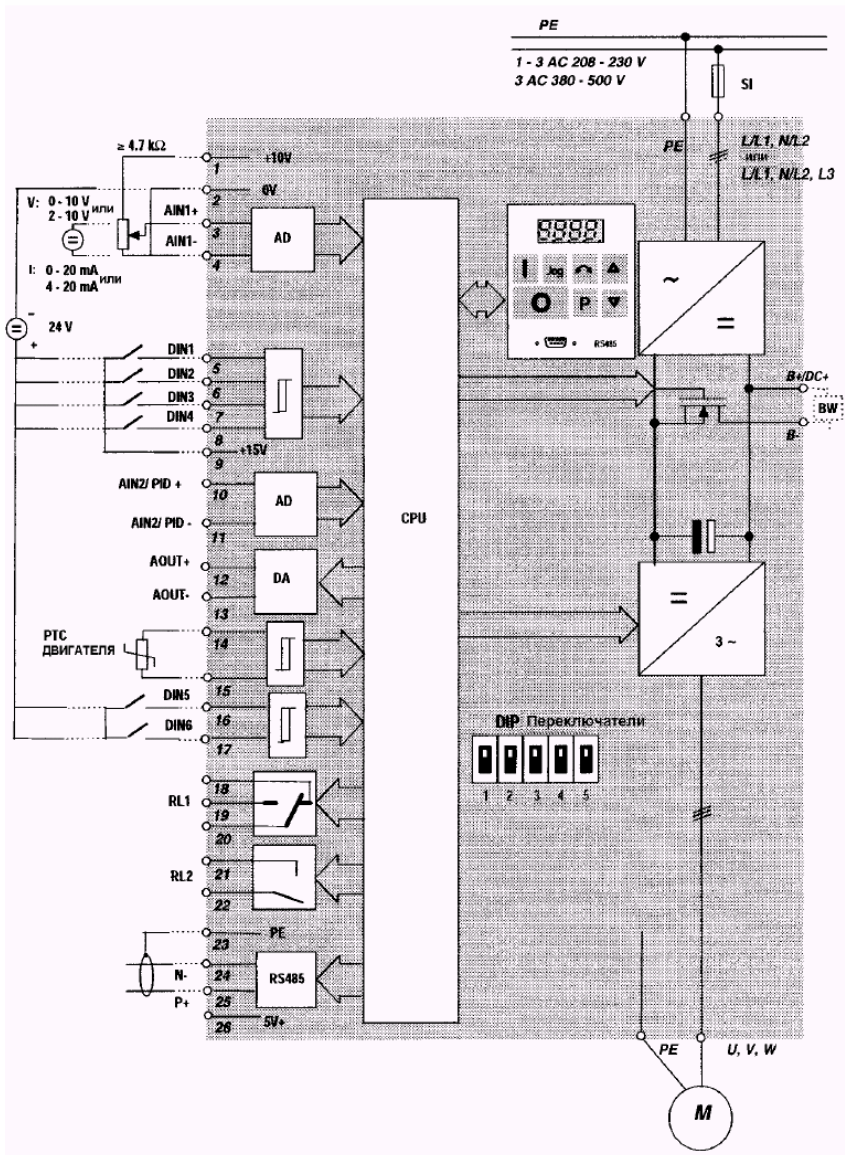


Рис. 2.5. Функциональная схема электропривода

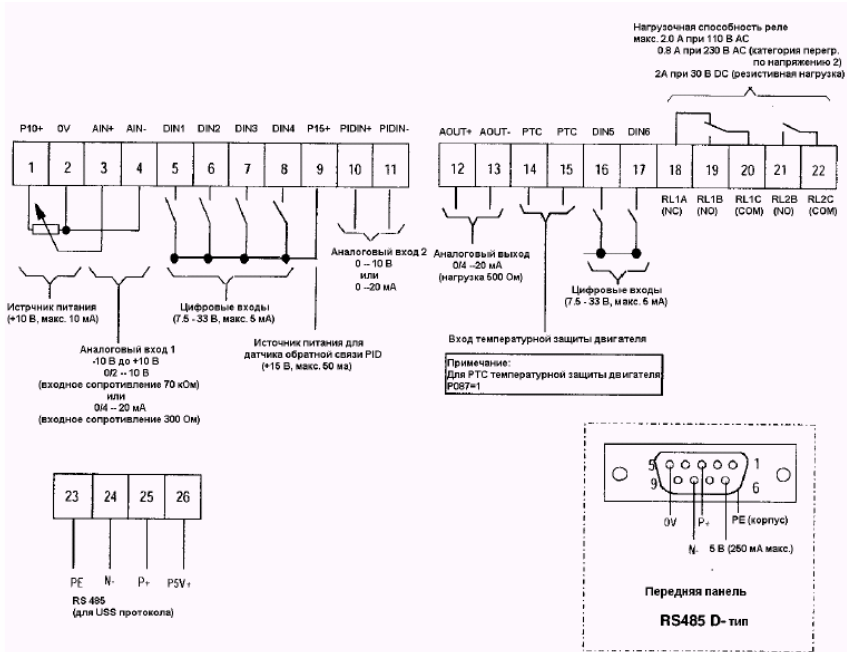


Рис. 2.6. Схема подключения цепей управления

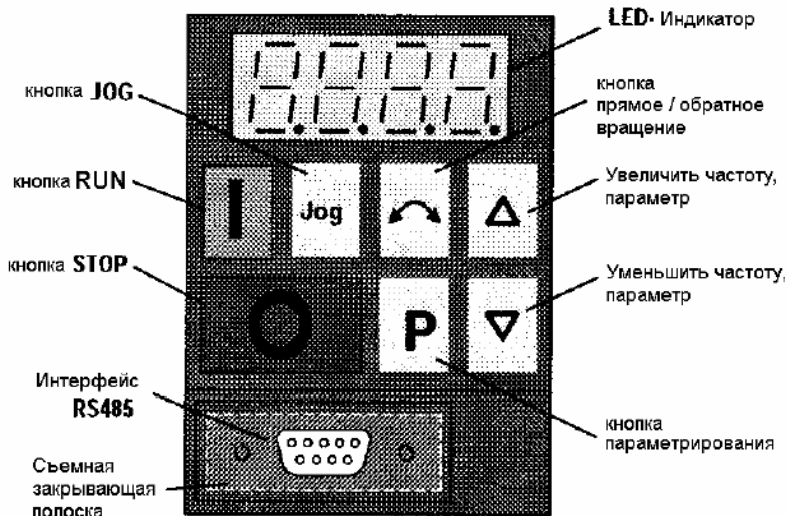


Рис. 2.7. Панель и пульт управления

Для управления электроприводом и программирования его режимов работы используется панель управления и программирования (рис. 2.7).

Требуемые значения параметров вводятся при использовании трех программирующих кнопок (P, Δ, ∇). Номер параметра и его значение отображаются на четырехзначном цифровом индикаторе.

Таблица 2.1

Перечень операций панели и пульта управления

JOG	Нажатие этой кнопки при остановленном инверторе запускает его при заданной частоте проталкивания (JOG). Инвертор остановится, как только кнопка будет отпущена. Нажатие этой кнопки при работающем инверторе не имеет эффекта. Выборочно не задействуется при P123 = 0
RUN	Нажать для запуска инвертора. Выборочно не задействуется при P121 = 0
STOP	Нажать для остановки инвертора. При однократном нажатии действует OFF1. При двойном нажатии (или удержании) действует OFF2, что приводит к немедленному снятию напряжения с двигателя и остановке при свободном выбеге при рампе замедления
LED	Отображает частоту (по умолчанию), номера или значения параметров (при нажатой P), или коды неполадок
↔	Нажать для изменения направления вращения двигателя. Обратное направление указывается на дисплее знаком минус (значение < 100) или мигающей левой десятичной точкой (значения > 100). Выборочно не задействуется при P121 = 0
Δ	Нажать для УВЕЛИЧЕНИЯ частоты. Используется для увеличения номера или значения параметра при операции установки параметров. Выборочно не задействуется при P124 = 0
∇	Нажать для СНИЖЕНИЯ частоты. Используется для снижения номера или значения параметра при операции установки параметров. Выборочно не задействуется при P124 = 0
P	Нажать для доступа к параметрам. Выборочно не задействуется при P051 – P055 и P356 = 14 при использовании цифровых входов

Программа работы

1. Произвести программирование частоты инвертора преобразователя: $f = 35 \text{ Гц}; 25 \text{ Гц}; 10 \text{ Гц}; 5 \text{ Гц}$.

2. Осуществить пуск, реверсирование и регулирование скорости вращения асинхронного двигателя.

3. Выполнить программирование работы инвертора для регистрации тока и напряжения на статоре двигателя.

4. Снять механические характеристики асинхронного двигателя при частотах: $f_1 = 50$ Гц, $f_2 = 35$ Гц; $f_3 = 15$ Гц и $f_3 = 5$ Гц.

Указания и пояснения к выполнению работы

1. Включение электропривода в работу.

Нажать зеленую кнопку «Старт» для пуска асинхронного двигателя. Если нажать кнопку «Вверх» во время работы двигателя, то можно наблюдать увеличение скорости вращения двигателя. Значение скорости вращения отображается на дисплее пульта управления.

Когда частота преобразователя достигнет 50 Гц, нажмите кнопку «Вниз» и наблюдайте за уменьшением скорости вращения. В любое время нажмите кнопку «Стоп» и наблюдайте за остановкой двигателя.

2. Изменение скорости вращения программированием инвертора.

Нижняя выходная частота равна 5 Гц (для перевода в об/мин применить выражение $n = 30f$). Возможно, эта скорость будет слишком мала для многих операций, поэтому ее можно изменить. Последующие шаги помогут вам изменить данную скорость до требуемой.

Таблица 2.2

Программирование инвертора

Шаг/действие	На дисплее
Нажмите кнопку «Р» для допуска к настройкам параметров	P000
Нажмите «вверх» пять раз, пока не высветится P005	P005
Нажмите «Р» для просмотра текущей частоты	005.0
Нажмите «вверх» для изменения частоты до 35 Гц (число от 0 до 50 Гц)	035.0
Нажмите «Р» для записи в память новой частоты	P005
Нажимайте «вниз» пока не высветится P000	P000
Нажмите «Р» для выхода из настроек. Дисплей будет высвечивать то выходную, то установленную величину	000.0 035.0

Требуемая частота установлена. По данному методу можно получить доступ ко всем параметрам.

Теперь двигатель может быть запущен нажатием кнопки «старт». Он будет разгоняться до частоты, установленной в параметре P005.

Для остановки двигателя нажмите кнопку «стоп» и двигатель остановится до 0 Гц.

3. Изменение скорости двигателя с помощью потенциометра.

Потенциометр может быть использован для контроля скорости инвертора. Это достигается изменением напряжения, подаваемого на аналоговый вход. Соединение потенциометра с контрольным терминалом показано на рис. 2.6. Пуск и останов двигателя может быть осуществлен соединением ключа с цифровым входом показанного терминала.

Нижеприведенные параметры следует устанавливать:

P006 = 1 – устанавливает разрешение аналогового входа;

P007 = 0 – устанавливает разрешение контроля через цифровой вход.

4. Дополнительные указания и советы.

1. Направление вращения двигателя может быть изменено в течение работы путем переключения двух входов инвертора или нажатием кнопки «Вперед/назад».

2. Параметры от P000 до P009 всегда могут быть считаны или установлены. Доступ ко всем другим параметрам контролируется соединением с P009.

Заводское значение P009 «0», которое дает доступ к P000 – P009. Изменение этого значения на «3» дает постоянный доступ ко всем параметрам. Смотрите «ручное управление» для определения функций других значений P009.

3. В случае проблем с установкой параметров и при желании начать сначала измените P994 на «1». Это сотрет все установки.

4. Значение, показанное на P000, – это выходная частота инвертора, эта установка может быть изменена путем изменения значения P001. Для примера: P001 = 5 означает, что на P000 показывается скорость двигателя в рад/с. Смотрите «ручное управление» для определения функций других значений P001.

5. Значение «0» параметра P006 говорит о том, что управление осуществляется с частотой P005. Для контроля выходной частоты на аналоговом выходе значение P006 устанавливаем «1». Для других методов контроля используйте P006, смотрите «ручное управление».

6. DIP-выбор ключей используется для выбора диапазона 0–10 В, 0–20 мА для аналогового выхода. Смотрите «ручное управление» для дополнительной информации.

7. F002 – соответствует ошибке. Это означает, что слишком маленькое время разгона или слишком высокое напряжение. Увеличение значения P002 увеличивает время разгона. Другое решение – это снижение значений P078 и P079 для уменьшения напряжения. Но если P078 упадет ниже «100», то двигатель может не выполнять свои функции на низких частотах.

8. Ошибка F001 означает, что попытка остановить двигатель слишком ранняя и увеличение P003 (время торможения) делает это возможным.

9. Если дисплей мигает при работе, управление опасно. Проверьте P931 в этом случае.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Функциональная схема электропривода.
4. Схема силовой части электропривода.
5. Механические характеристики электропривода.
6. Выводы по работе.
7. Литература.

Вопросы для самопроверки

1. Достоинства и недостатки частотного регулирования скорости вращения.
2. С какой целью при частотном управлении регулируется напряжение, подводимое к статору двигателя?
3. Какие типы преобразователей частоты вам известны?
4. Из каких элементов состоит преобразователь MICROMASTER?
5. Назовите основные узлы силовой схемы преобразователя частоты.
6. Куда аккумулируется энергия при торможении асинхронного двигателя?
7. Перечислите органы управления на передней панели.
8. Поясните принципы программирования инвертора.
9. Вид механических характеристик асинхронного двигателя при частотах: $f_1 = 50$ Гц, $f_2 = 35$ Гц и $f_3 = 5$ Гц.

Лабораторная работа 3 ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Цель работы – изучение устройства, функциональных возможностей и порядка работы на стенде для снятия экспериментальных характеристик электропривода с преобразователем MOVITRAC В.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо по учебникам и конспектам лекций изучить тему «Электроприводы переменного тока с частотным управлением» [2].

Описание лабораторного стенда

Функциональная схема лабораторного стенда показана на рис. 3.1. Она состоит из исполнительного электропривода и нагружающего электропривода.

Схема исполнительного электропривода питается от сети напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Напряжение через автоматический выключатель $QF1$. Далее, при замыкании контакта контактора $K1$, который включается от кнопки $SB2$, напряжение подаётся на преобразователь $U1$.

Преобразователь $U1$ состоит из неуправляемого выпрямителя, защитного устройства и автономного инвертора $АИ$. От преобразователя $U1$ через предохранители напряжение поступает на асинхронный двигатель $M1$.

Схема нагружающего электропривода питается от трехфазной сети напряжением 380 В.

Напряжение подаётся через автоматический выключатель $QF2$ на трансформаторы $T1$ и $T2$. Когда необходимо нагружать исполнительный электропривод, замыкается контакт кнопки $SB4$, что приводит к включению контактора. От трансформаторов $T1$ и $T2$ напряжение подаётся на преобразователь $U2$ и одновременно через предохранители $FU1$ и $FU2$ на неуправляемый выпрямитель блока питания электромагнитного тормоза. Это сделано для того, чтобы при подаче питания на якорь двигателя $M2$ происходило растормаживание электромагнитного $K2$, который своими контактами замыкает цепь питания тормоза.

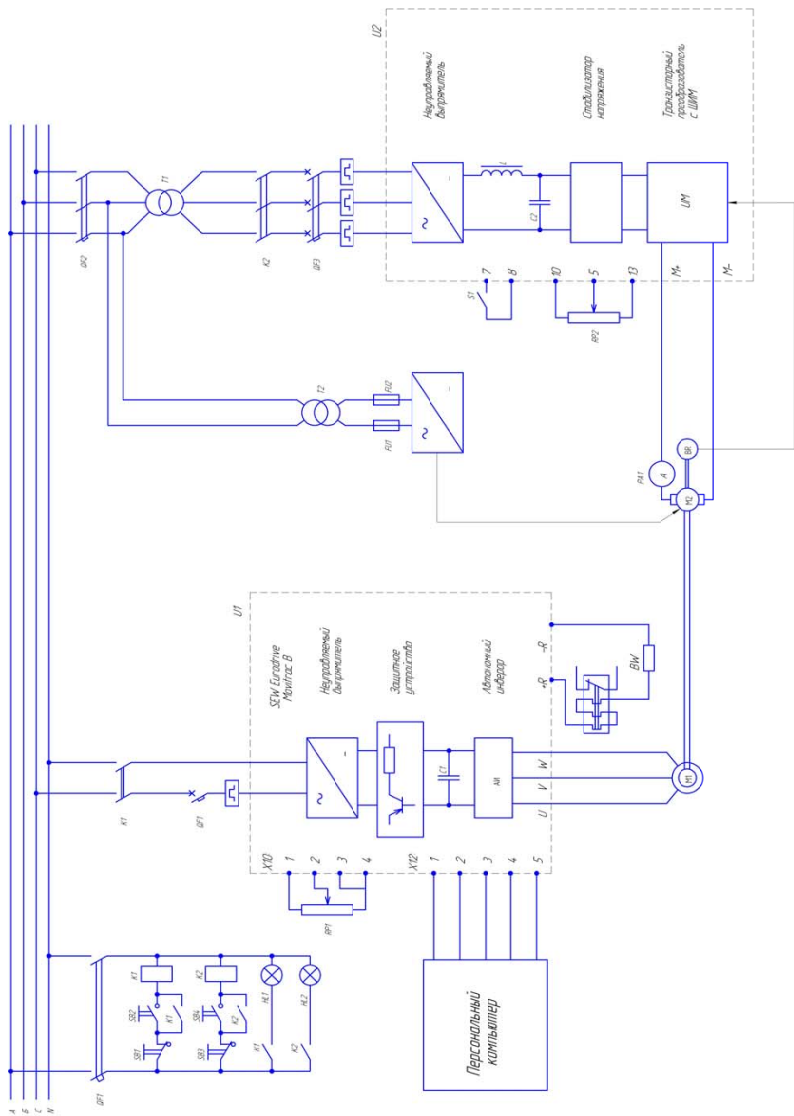


Рис. 3.1. Функциональная схема лабораторного стенда

Преобразователь U_2 нагружающего электропривода состоит из неуправляемого выпрямителя, стабилизатора напряжения и транзисторного преобразователя с ШИМ UM . От преобразователя U_2 питание подаётся на якорь нагружающего двигателя постоянного тока M_2 .

В цепь питания якоря нагружающего двигателя постоянного тока M_2 включен амперметр $PA1$.

С помощью персонального компьютера выполняются следующие основные операции:

- визуальное отображение состояния параметров и переменных электропривода;
- задание режимов работы электропривода;
- автоматизация экспериментальных исследований;
- осциллографирование измеряемых координат;
- обработка результатов экспериментальных исследований.

Программа работы

1. Изучить схему лабораторного стенда.
2. Произвести включение стенда в работу и запустить программу.
3. Осуществить пуск электропривода на заданную скорость вращения.
4. Произвести реверс и торможение электропривода.

Порядок выполнения работы

1. Для пуска программы управления асинхронным электроприводом необходимо выполнить следующие операции на компьютере:

1) запустите программу MOVITOOLS MotionStudio и выберите «New project» для создания нового проекта → Ok (рис. 3.2);

2) в строке «Project name» введите имя проекта, например Work1 → Ok (рис. 3.3);

3) кликните правой кнопкой мыши по «Serial (COM 4 USB)» и выберите Network scan (рис. 3.4);

4) начнётся сканирование сети;

5) появится изображение преобразователя частоты. Кликните правой кнопкой мыши для открытия контекстного меню. Выберите «Startup» – «Manual operation» (рис. 3.5).



Рис. 3.2. Окно выбора нового проекта лабораторной работы

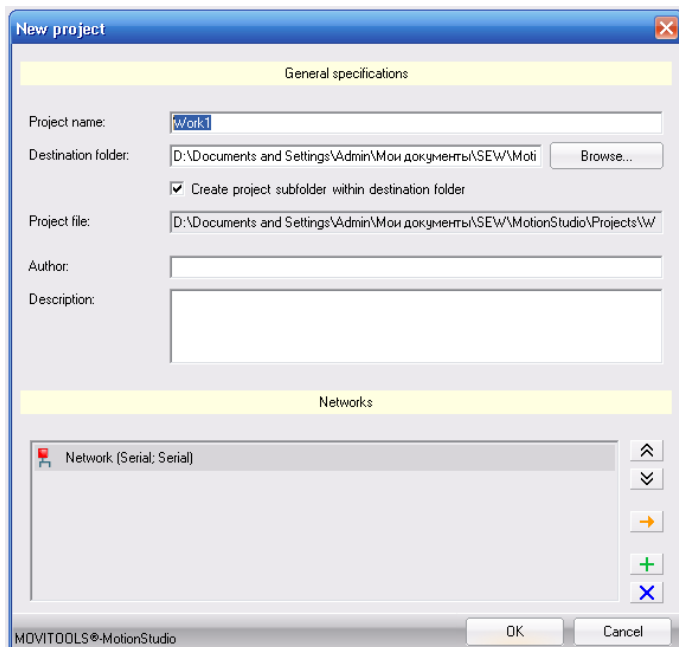


Рис. 3.3. Окно введения имени проекта

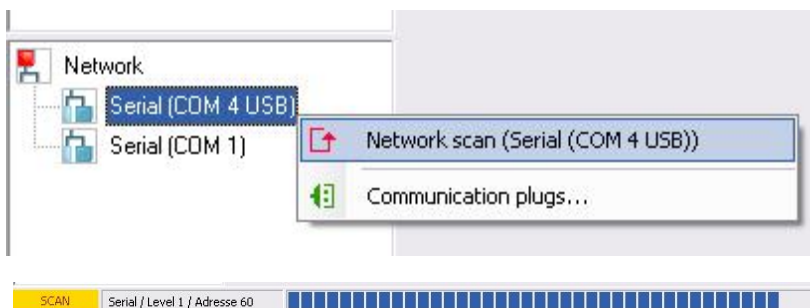


Рис. 3.4. Окно выбора и сканирование сети

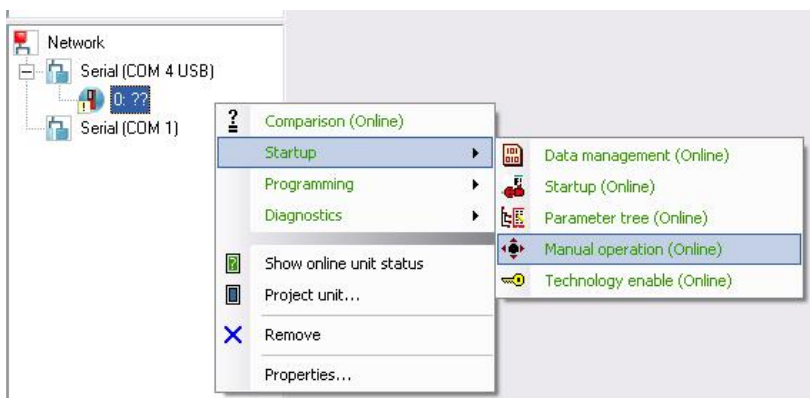


Рис. 3.5. Окно для открытия контекстного меню

2. Для пуска электропривода на заданную скорость вращения необходимо выполнить следующие операции на компьютере:

- 1) нажмите для активации ручного режима «Activate Manual operation», затем для запуска двигателя – «Start» (рис. 3.6);
- 2) измените скорость вращения двигателя в «Variable». Установите 292 об/мин.

3. Для выполнения реверса и торможения электропривода необходимо выполнить следующие операции на компьютере:

- 1) сделайте реверс (с помощью кнопок «CCW» и «CW» можно менять направление вращения);
- 2) для остановки двигателя нажмите «Stop» (рис. 3.7).

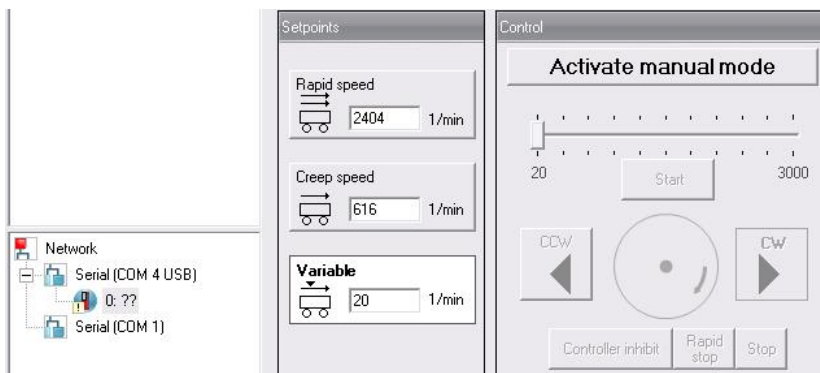


Рис. 3.6. Окно управления электроприводом

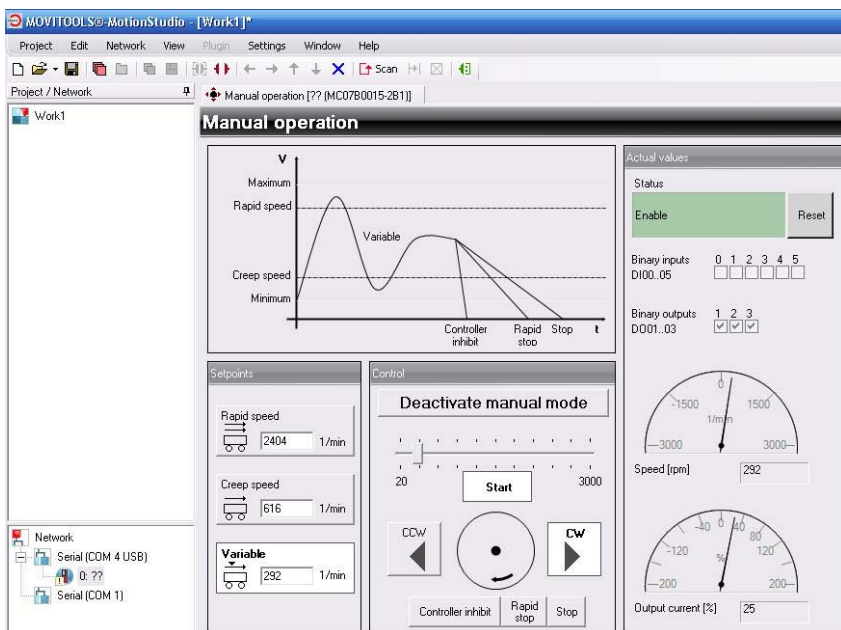


Рис. 3.7. Результат настройки и обработки операций

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Функциональная схема лабораторного стенда.
4. Краткое изложение основных действий на компьютере.
5. Выводы по работе.
6. Литература.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы функциональной схемы.
2. Порядок включения испытуемого электропривода.
3. Порядок включения нагрузочного электропривода.
4. Как создаётся нагрузка на валу испытуемого электропривода?
5. Как осуществляется запуск программы управления?
6. Какие типы преобразователей частоты вам известны?

Лабораторная работа 4

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Цель работы – изучение динамических свойств асинхронного электропривода при частотном управлении.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо по учебникам и конспектам лекций изучить тему «Электроприводы переменного тока с частотным управлением» [2].

Краткие теоретические сведения

Асинхронный электропривод с частотным управлением наряду с регулированием скорости позволяет осуществлять плавный пуск и торможение. Рассмотрим прямой пуск асинхронного двигателя, когда его статорные обмотки непосредственно подключаются к питающей сети.

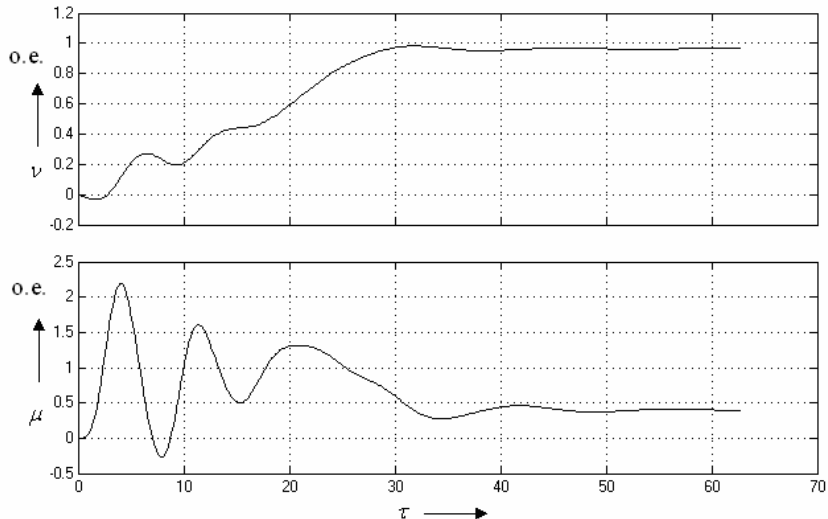


Рис. 4.1. Осциллограммы скорости v вращения и электромагнитного μ момента при прямом пуске асинхронного двигателя

В осциллограммах (рис. 4.1) приняты обозначения: $\nu = \frac{\omega}{\omega_e}$, $\mu = \frac{M}{M_e}$ и $\tau = \frac{t}{t_e} = \omega_e \cdot t$ – соответственно относительные значения угловой скорости ротора, электромагнитного момента и (безразмерное) время; $M_e = \frac{3}{2} \cdot p_n \cdot \frac{U_e \cdot I_e}{\omega_e} = \frac{3 \cdot p_n \cdot U_H \cdot I_H}{\omega_s}$ и $\omega_B = \omega_S = 2\pi \cdot f_1$ – соответственно базисные единицы момента и угловой скорости.

При пуске переходный процесс носит колебательный характер. Значение первого пика момента $\mu = 2,2$ о.е., затем, по мере разгона, колебания момента и скорости уменьшаются. Ударный характер электромагнитного момента создает большие динамические нагрузки и может вызвать повреждения элементов кинематической цепи электропривода.

При частотном пуске асинхронного двигателя ударные пики электромагнитного момента могут быть снижены до допустимого уровня и переходные процессы приобретают монотонный вид. В целом динамические характеристики асинхронного электропривода аналогичны характеристикам привода постоянного тока. Но так как механическая постоянная времени асинхронного двигателя существенно меньше, то могут иметь место колебания ротора. Эти колебания должны быть устранены действием системы регулирования.

Программа работы

1. Произвести включение стенда в работу и запустить программу.
2. Осуществить пуск электропривода на заданную скорость вращения и снять осциллограммы скорости и тока при пуске.
3. Выделить из осциллограмм тока динамические и статические составляющие тока и объяснить их физический смысл.
4. Произвести реверс и торможение электропривода и снять осциллограммы при реверсе.
5. Выделить в осциллограммах реверса режимы торможения и пуска двигателя в обратном направлении. Объяснить физический смысл режима реверса.

Указания и пояснения к выполнению работы

1. Для выполнения пункта 1 программы работы необходимо осуществить следующие операции на компьютере:

- 1) запустите программу MOVITOOLS MotionStudio, создайте новый проект;
- 2) сканируйте сеть и активируйте ручной режим (первые пять пунктов из 1-й лабораторной работы).

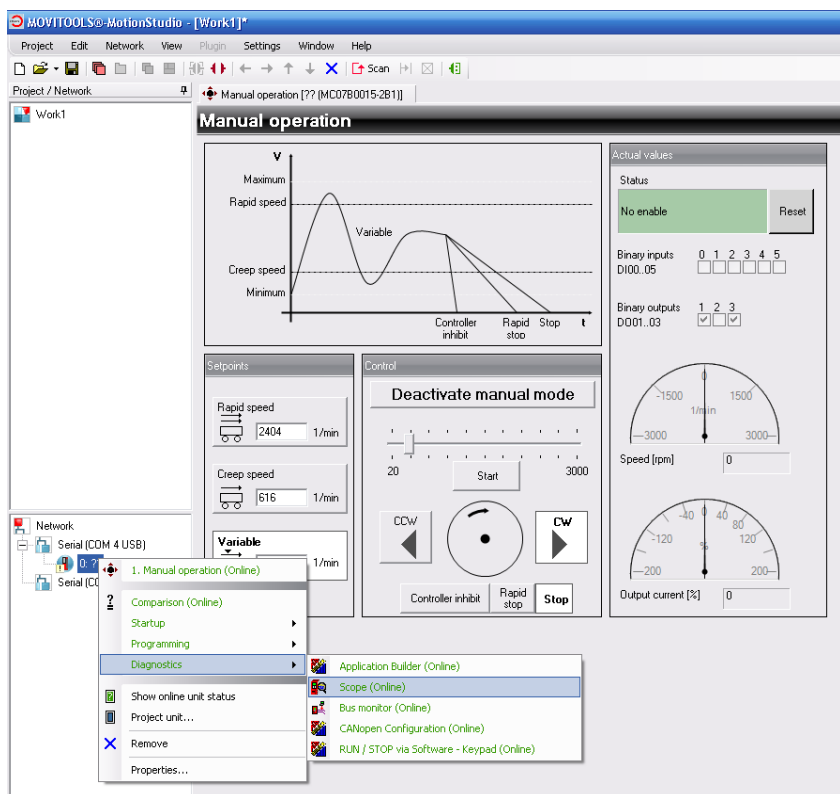


Рис. 4.2. Окна выбора опций «Diagnostics» и «Scope»

2. Для выполнения пункта 2 программы работы необходимо выполнить следующие операции на компьютере:

- 1) кликните правой кнопкой мыши по изображению преобразователя частоты, выберите «Diagnostics», затем – «Scope» (рис. 4.2);
- 2) откроется новое окно «Scope». Для дальнейшего более удобного использования расположите на экране 2 открытых окна: правой кнопкой по панели задач → «Окна слева направо»;

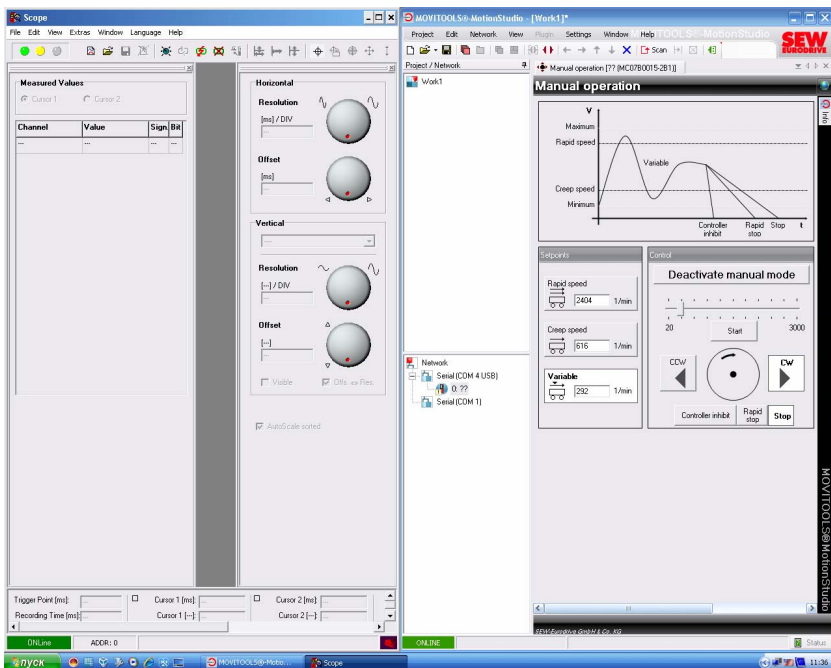


Рис. 4.3. Окно «Score» программы MotioStudio—[Work 1]

- 3) в окне «Score» на панели инструментов нажмите «Record Settings» (рис. 4.3). В открывшемся окне «Record Settings» нажмите «Start», затем – «Trigger» (рис. 4.4);
- 4) начнётся запись. Запустите двигатель, увеличьте скорость, остановите двигатель. Для загрузки результатов в окне «Record Settings» нажмите «Load». Примерно через минуту произойдёт загрузка данных и появятся осциллограммы (рис. 4.5). Зелёным цветом показана заданная скорость [об/мин], синим – настоящая скорость [об/мин], бирюзовым – активный ток [% от номинального тока], красным – двоичные входы [биты]. С помощью кнопки «zoom» на панели инструментов можно увеличить необходимый отрезок времени, например момент пуска.

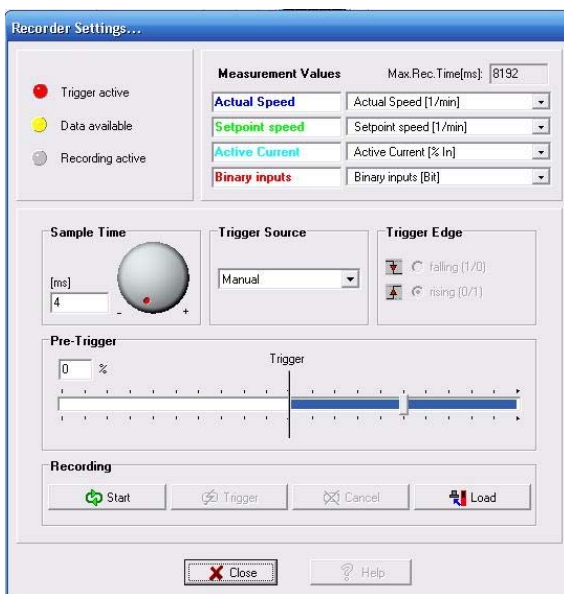


Рис. 4.4. Окно «Record Setting»

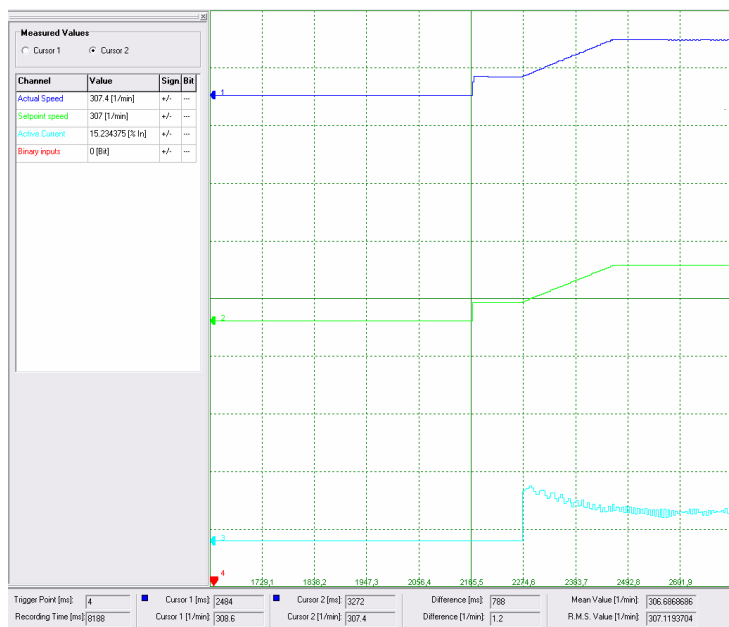


Рис. 4.5. Осциллограммы переходного процесса при пуске электропривода

3. Для выполнения пункта 3 программы работы необходимо выделить в кривой тока динамическую и статическую составляющие (рис. 4.6).

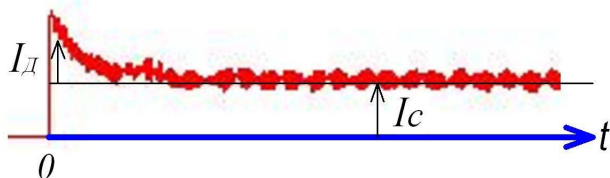


Рис. 4.6. Статическая I_c и динамическая I_d , составляющие статорного тока

4. Для выполнения пункта 4 программы работы необходимо выполнить следующие операции на компьютере:

- 1) запустите двигатель, увеличьте скорость;
- 2) в окне «Record Settings» нажмите «Start», затем – «Trigger». Сделайте реверс. Остановите двигатель. Нажмите «Load».

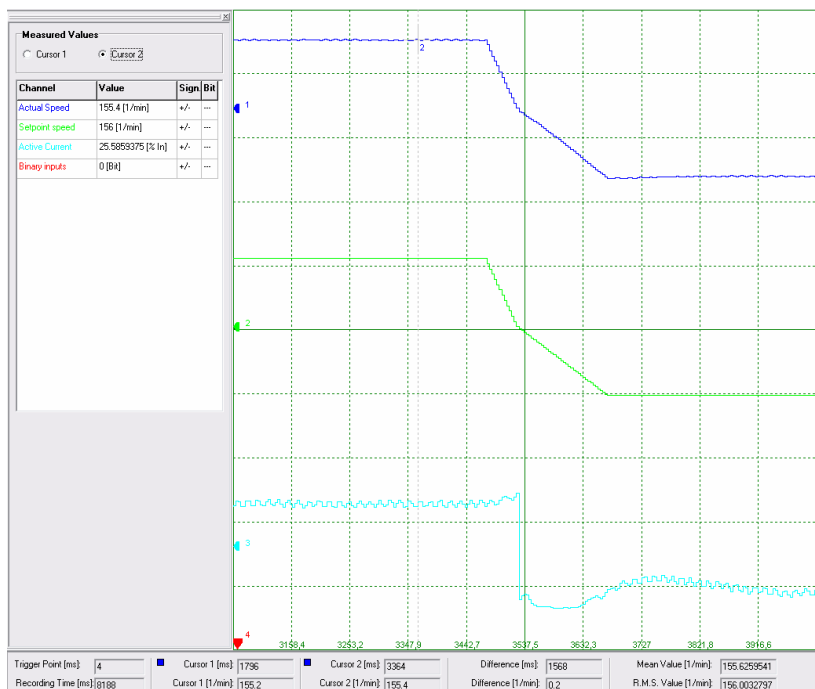


Рис. 4.7. Осциллограммы переходного процесса при реверсе электропривода

5. Для выполнения пункта 5 программы работы необходимо выделить в осциллограммах реверса режимы торможения и пуска двигателя в обратном направлении (рис. 4.8).

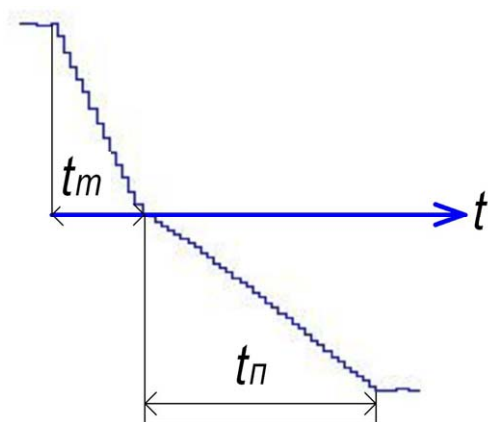


Рис. 4.8. Осциллограмма скорости вращения при торможении и пуске двигателя

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Динамические характеристики асинхронного электропривода при пуске и реверсе.
4. Выводы по работе.
5. Литература.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое динамические характеристики?
2. О каких процессах при пуске можно судить по снятым характеристикам?
3. Составляющие тока.
4. О каких процессах при реверсе можно судить по снятым характеристикам?

Лабораторная работа 5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Цель работы – экспериментально снять и исследовать семейство электромеханических и механических статических характеристик асинхронного электропривода при частотном регулировании.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо по учебникам и конспектам лекций изучить тему «Электроприводы переменного тока с частотным управлением» [2].

Краткие теоретические сведения

Основной целью и содержанием экспериментальных исследований в установившихся режимах является снятие механических характеристик привода с асинхронным двигателем. Это обусловлено прежде всего разнообразием принципов частотного регулирования скорости асинхронных двигателей, разработанных и практически используемых, а также сложностью электромагнитных процессов, связанных с регулированием частоты питающего напряжения и определяющих вид механических характеристик привода. Поэтому для более полного и глубокого понимания процессов регулирования необходимо, кроме механических характеристик, исследовать характер изменения тока, напряжения и частоты статора при изменении нагрузки для различных способов частотного регулирования.

Общепринятая методика снятия механических характеристик – последовательное изменение нагрузки и регистрация по точкам значений скорости и момента. Основной ее недостаток – значительная продолжительность эксперимента, что не только уменьшает количество проведенных в ограниченное время опытов, но и приводит к значительному нагреву обмоток.

В данном стенде используется иная методика. С помощью системы управления нагрузочным приводом создается линейное увеличение нагрузки и одновременно производится снятие осциллограмм измеряемых величин. Линейное нарастание достигается использованием в качестве

источника задания функции «Мотор – потенциометр». Темп и диапазон изменения нагрузки можно задавать в необходимых пределах. Одновременно можно записывать пять кривых, которые выбираются из меню осциллографа. В их числе: скорость, частота, напряжение, полный и активный ток статора, момент и др. Затем с использованием разработанной программы «Обработка результатов» производится построение в функции момента или любой другой записанной величины кривых изменения всех остальных переменных. Записанные кривые можно сохранить и составить из них банк данных. В результате механические характеристики получаются без дополнительных пересчетов по точкам и могут строиться отдельно или в любом сочетании на одном графике.

Программа работы

1. Произвести включение стенда в работу и запустить программу.
2. Снять электромеханическую характеристику в зоне малых скоростей вращения.
3. Осуществить пуск электропривода без нагрузки до скорости n_1 . Определить скорость вращения и статическую составляющую тока.
4. Подключить нагрузку. Определить скорость вращения и статическую составляющую тока.
5. Снять электромеханическую характеристику в зоне высоких скоростей вращения.
6. Осуществить пуск электропривода без нагрузки до скорости n_2 . Определить скорость вращения и статическую составляющую тока.
7. Подключить нагрузку. Определить скорость вращения и статическую составляющую тока.
8. Построить семейство электромеханических и механических характеристик.

Примечание. Скорости вращения n_1 и n_2 задаются преподавателем.

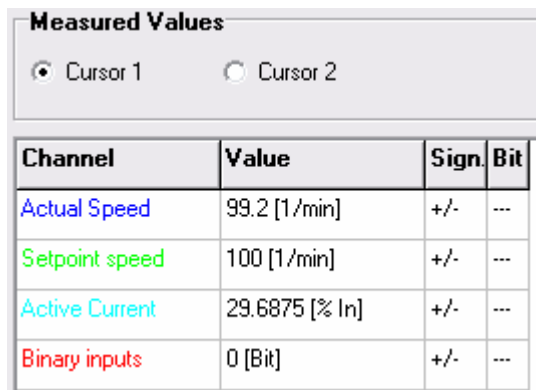
Порядок выполнения работы

1. Для выполнения пункта 2 программы работы необходимо осуществить следующие операции на компьютере:

- 1) запустите двигатель, увеличьте скорость до n_1 . Снимите осциллограммы без нагрузки. Установите курсор на любой из кривых в произвольном месте. Слева на панели «Measured Values» показаны

значения в данный момент времени. В нашем случае реальная скорость – 99,2 об/мин; ток – 29,6875% от I_n (рис. 5.1);

- 2) подключите нагрузку, снимите осциллограммы и определите скорость вращения и статическую составляющую тока.



Channel	Value	Sign	Bit
Actual Speed	99.2 [1/min]	+/-	---
Setpoint speed	100 [1/min]	+/-	---
Active Current	29.6875 [% In]	+/-	---
Binary inputs	0 [Bit]	+/-	---

Рис. 5.1. Окно регистрации скорости и тока двигателя

Таким образом, для построения электромеханической характеристики в зоне малых скоростей вращения мы получаем 2 точки (с нагрузкой и без нее).

2. Для выполнения пункта 3 программы работы необходимо выполнить следующие операции на компьютере:

- 1) увеличьте скорость до n_2 . Снимите осциллограммы без нагрузки и определите скорость вращения и статическую составляющую тока;
- 2) подключите нагрузку, снимите осциллограммы и определите скорость вращения и статическую составляющую тока.

Таким образом, для построения электромеханической характеристики в зоне высоких скоростей вращения мы получаем 2 точки (с нагрузкой и без).

3. Для выполнения пункта 4 программы работы необходимо выполнить следующие операции:

- 1) по двум точкам (с нагрузкой и без) постройте две (в зоне высоких и низких скоростей вращения) электромеханические характеристики;
- 2) на основании электромеханических характеристик и зависимости момента от тока постройте механические характеристики.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Семейство электромеханических характеристик асинхронного электропривода.
4. Семейство механических характеристик асинхронного электропривода.
5. Выводы по работе.
6. Литература.

Контрольные вопросы

1. Что такое электромеханические характеристики?
2. Что такое механические характеристики?
3. Как на основании электромеханической характеристики построить механическую?
4. Достоинства и недостатки частотного регулирования скорости.
5. С какой целью при частотном управлении регулируется подводимое к статору двигателя напряжение?

Лабораторная работа 6

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Цель работы – исследовать электромеханические свойства асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при частотном скалярном управлении.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо по учебникам и конспектам лекций изучить темы: «Системы управления скоростью асинхронного электропривода» [1]; «Определение параметров и расчет механических характеристик двигателя при частотном управлении» [2; 4].

Краткие теоретические сведения

Скорость вращения асинхронного двигателя или синхронного двигателя можно регулировать путем изменения скорости вращения ω_s электромагнитного поля их статора. При этом скорость вращения поля пропорциональна частоте f_s питающего напряжения:

$$\omega_s = \frac{2\pi \cdot f_s}{P_{\Pi}}, \quad (6.1)$$

где P_{Π} – число пар полюсов обмотки статора.

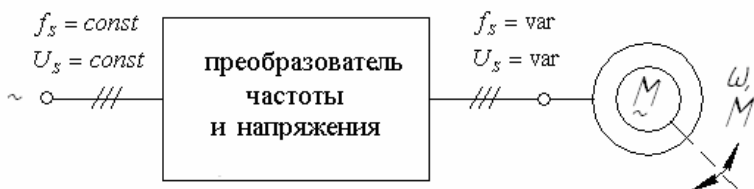


Рис. 6.1. Схема частотного регулирования скорости вращения двигателя переменного тока

В процессе изменения частоты f_s необходимо также изменять напряжение U_s на статоре двигателя. Для пояснения этого воспользуемся выражением связи напряжения статора с его частотой и магнитным по-

токосцеплением ψ_s , если падение напряжения на активном сопротивлении статора не учитывается:

$$U_s \approx \frac{2\pi \cdot f_s \cdot \psi_s}{P_{II}}. \quad (6.2)$$

Из выражения (6.2) следует, что при постоянном напряжении на статоре ($U_s = \text{const}$) уменьшение частоты f_s приведет к увеличению потокосцепления ψ_s . Это приведет к увеличению тока намагничивания, насыщению магнитной системы, увеличению потерь в стали и снижению энергетических показателей работы двигателя. Увеличение частоты f_s вызовет уменьшение потокосцепления статора, а отсюда вращающий момент двигателя уменьшится, что явно не желательно.

Для наилучшего использования двигателя при регулировании его скорости вращения необходимо с изменением частоты подводимого к статору напряжения одновременно изменять и его величину. При этом соотношение между величиной напряжения и частотой определяется законом частотного скалярного управления. В практике находят применение три закона частотного управления:

$$\frac{U_s}{f_s} = \text{const}; \quad \frac{U_s}{f_s^2} = \text{const} \quad \text{и} \quad \frac{U_s}{\sqrt{f_s}} = \text{const}. \quad (6.3)$$

Законы (6.3) могут быть реализованы с помощью функциональных преобразователей, что позволяет создавать простые схемы частотного скалярного управления асинхронными двигателями.

Использование законов приемлемо при допущении $R_s = 0$, что справедливо только для двигателей большой мощности. В таких двигателях активное сопротивление статорных обмоток невелико по сравнению с ее индуктивным сопротивлением. Если же используется двигатель средней или малой мощности, то пренебрегать активным сопротивлением статорной обмотки нельзя, так как не будет выполнено требование поддержания постоянства перегрузочной способности двигателя. В этом случае для обеспечения закона частотного управления необходимо напряжение на статоре двигателя увеличивать на величину падения напряжения на активном сопротивлении статорной обмотки, то есть:

$$U_s = U_{SH} \cdot f_s^* + I_{SH} \cdot R_s \cdot (1 - f_s^*), \quad (6.4)$$

где I_{SH} — номинальный ток статорной обмотки двигателя.

Способ частотного регулирования с учетом (6.4) называется «пропорциональное регулирование с $I \cdot r$ -компенсацией».

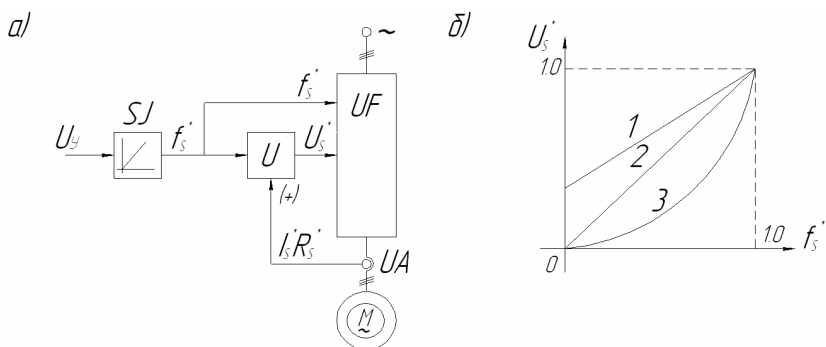


Рис. 6.2. Схема частотного управления асинхронным двигателем (а) и зависимости (б) функционального преобразователя

Применение простых (рис. 6.2,а) схем оправдано, если требуется невысокая точность стабилизации скорости вращения двигателя и небольшой диапазон ее регулирования. В таких системах переменное напряжение и его частота на статоре двигателя M регулируются с помощью преобразователя частоты UF .

При реализации пропорционального закона $U_s/f_s = \text{const}$ частотного управления функциональный преобразователь формирует сигнал U_s^* согласно прямой 2 (рис. 6.2,б), который затем поступает на второй вход преобразователя частоты UF . При учете действия $I \cdot r$ -компенсации сигнал U_s^* формируется по ломаной 1. Причем составляющая $I_s^* R_H^*$ сигнала создается с помощью датчика UA тока статорной обмотки. При вентиляторной нагрузке на валу двигателя, когда $M_c \cong \omega^2$, функциональный преобразователь обеспечивает зависимость $\frac{U_s}{f_s^2} = \text{const}$ (рис. 6.2,б, кривая 3).

При регулировании скорости асинхронного двигателя выше номинальной для приводов производственных машин, работающих при изменении скорости с постоянной мощностью, напряжение на статоре двигателя должно в процессе регулирования оставаться постоянным, равным номинальному, тогда как критический момент двигателя уменьшается обратно пропорционально частоте. Для ограничения токов и момента при пуске двигателя в схеме предусмотрен задатчик интенсивности SJ , который ограничивает темп изменения частоты f_s и напряжения U_s .

Рассмотренная схема разомкнутого регулирования в статическом режиме при реализации соотношения U_s/f_s практически обеспечивает постоянство критического момента в диапазоне (8...10):1 при постоянной нагрузке, а при вентиляторной нагрузке – диапазон регулирования (10...20):1.

Программа работы

1. Изучить схему частотного управления асинхронным двигателем и зависимости функционального преобразователя (рис. 6.2).

2. По справочным данным рассчитать параметры заданного типа асинхронного двигателя.

3. Рассчитать и построить искусственные статические механические характеристики $\omega = f(M)$ электропривода с пропорциональным законом управления $\frac{U_1}{f_1} = const$ при $R_s = 0$ для частот: $f_1 = 0,8f_{1ном}$;

$f_1 = 0,6f_{1ном}$; $f_1 = 0,4f_{1ном}$; $f_1 = 0,2f_{1ном}$.

4. Рассчитать и построить искусственные статические механические характеристики $\omega = f(M)$ привода управления с I_r -компенсацией для частот: $f_1 = 0,8f_{1ном}$; $f_1 = 0,6f_{1ном}$; $f_1 = 0,4f_{1ном}$; $f_1 = 0,2f_{1ном}$

5. Рассчитать и построить искусственные статические механические характеристики $\omega = f(M)$ привода при частотном управлении с постоянной мощностью для частот: $f_1 = 1,2f_{1ном}$; $f_1 = 1,4f_{1ном}$; $f_1 = 1,6f_{1ном}$; $f_1 = 1,8f_{1ном}$; $f_1 = 2f_{1ном}$.

6. Дать сравнительный анализ полученных характеристик.

Примечание. Тип асинхронного двигателя и значения частот f_1 задаются преподавателем.

Указания и пояснения к выполнению работы

1. Расчёт параметров асинхронного двигателя

В качестве примера для расчета параметров взят двигатель 4А90L2У3.

Справочные данные асинхронного двигателя:

синхронная частота вращения	– $n = 3000$ об/мин;
число пар полюсов	– $p_n = 1$;
номинальная мощность	– $P_H = 400$ Вт;
КПД	– $\eta = 0,865$;

коэффициент мощности двигателя $-\cos\varphi_{\mu} = 0,89$;
 номинальное фазное напряжение $-U_{\phi n} = 220$ В;
 число фаз обмотки статора $-m_1 = 3$;
 динамический момент инерции ротора двигателя $-J = 0,0059$ кг м²;
 кратность критического момента $-\lambda = 2,5$;
 номинальное скольжение $-S_n = 0,04$.
 $x'_{\mu} = 3,4$; $x'_1 = 0,055$; $r'_1 = 0,054$; $x''_2 = 0,099$; $r''_2 = 0,036$ – параметры
 Г-образной схемы замещения (рис. 6.3).

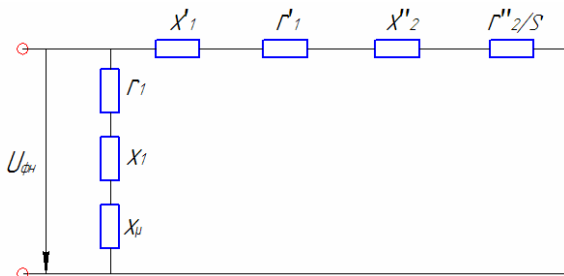


Рис. 6.3. Г-образная схема замещения асинхронного двигателя для номинального режима

Номинальный фазный ток статора:

$$I_{\phi H} = \frac{P_2}{m_1 \cdot U_{\phi H} \cdot \cos\varphi \cdot \eta} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,865} = 7,87 \text{ А.} \quad (6.5)$$

По формулам, приведенным в справочнике:

$$x_1 \cong \frac{2x'_1 \cdot x_{\mu}}{x_{\mu} + \sqrt{x_{\mu}^2 + 4x'_1 x_{\mu}}} = \frac{2 \cdot 0,055 \cdot 3,4}{3,4 + \sqrt{3,4^2 + 4 \cdot 0,055 \cdot 3,4}} = 0,05. \quad (6.6)$$

$$r_1 = r'_1 \cdot x_1 / x'_1 = 0,054 \cdot 0,05 / 0,055 = 0,05. \quad (6.7)$$

Коэффициент перевода относительных единиц в физические:

$$c = \frac{U_{\phi H}}{I_{\phi H}} = \frac{220}{7,87} = 27,95. \quad (6.8)$$

Активное сопротивление обмотки статора:

$$R_S = r_1 \cdot c = 0,052 \cdot 27,95 = 1,4 \text{ Ом.} \quad (6.9)$$

Взаимная индуктивность фаз статора и ротора:

$$L_m = \frac{x_{\mu} \cdot c}{2\pi f} = \frac{3,4 \cdot 27,95}{314} = 0,3026 \text{ Гн.} \quad (6.10)$$

Полная индуктивность фазы статора:

$$L_S = \frac{(x_\mu + x_1)c}{2\pi f} = \frac{(3,4 + 0,05) \cdot 27,95}{314} = 0,30709 \text{ Гн.} \quad (6.11)$$

Параметры уточненной схемы замещения:

$$x'_1 = c_1 \cdot x_1; \quad r'_1 = c \cdot r_1; \quad r''_2 = c_1 \cdot r'_2; \quad x''_2 = c_1^2 \cdot x'_2; \quad (6.12)$$

$$c_1 = \frac{x'_1}{x_1} = \frac{0,055}{0,05} = 1,1. \quad (6.13)$$

Активное сопротивление обмотки ротора:

$$R_r = \frac{r''_2 \cdot c}{c_1^2} = \frac{0,036 \cdot 27,95}{1,1^2} = 0,8316 \text{ Ом.} \quad (6.14)$$

Полная индуктивность фаз ротора:

$$L_r = \frac{(x_\mu + \frac{x''_2}{c_1^2}) \cdot c}{2\pi f} = \frac{(3,4 + \frac{0,099}{1,1^2}) \cdot 27,95}{314} = 0,3099 \text{ Гн.} \quad (6.15)$$

Коэффициенты электромагнитной связи статора и ротора:

$$k_s = \frac{L_m}{L_S} = \frac{0,3026}{0,3071} = 0,9853, \quad k_r = \frac{L_m}{L_r} = \frac{0,3026}{0,3099} = 0,9764. \quad (6.16)$$

Коэффициент рассеяния обмоток:

$$\sigma = (1 - k_s \cdot k_r) = (1 - 0,9853 \cdot 0,9764) = 0,03795. \quad (6.17)$$

Переходная индуктивность статора:

$$L'_S = L_S \cdot \sigma = 0,3071 \cdot 0,03795 = 0,0117 \text{ Гн.} \quad (6.18)$$

Переходное активное сопротивление статора:

$$R'_S = R_S + k^2_r \cdot R_r = 1,4 + 0,9764^2 \cdot 0,8316 = 2,1558 \text{ Ом.} \quad (6.19)$$

Индуктивное сопротивление намагничивающего контура:

$$x_\mu = 2\pi f \cdot L_m = 314 \cdot 0,3026 = 95 \text{ Ом.} \quad (6.20)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статора:

$$x_{S\sigma} = 2\pi \cdot f \cdot (L_S - L_m) = 314 \cdot 0,00449 = 1,4 \text{ Ом.} \quad (6.21)$$

Индуктивное сопротивление рассеяния ротора, приведенное к статору:

$$x'_{r\sigma} = 2\pi \cdot f \cdot (L_r - L_m) = 314 \cdot 0,0073 = 2,3 \text{ Ом.} \quad (6.22)$$

2. Расчет механических характеристик асинхронного двигателя при частотном скалярном управлении

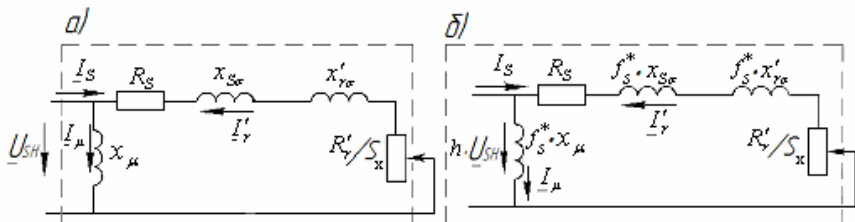


Рис. 6.4. Схемы замещения асинхронного двигателя при номинальных параметрах сети (а) и частотном управлении (б)

Для определения момента двигателя и построения механических характеристик используют Г-образные упрощенные схемы замещения, в которых намагничивающий контур вынесен на вход схемы без учета падения напряжения на активном сопротивлении и индуктивном сопротивлении рассеяния статора (рис. 6.4). Для расчета характеристик приняты следующие обозначения: $f_s^* = \frac{f_{SX}}{f_{SH}}$ — относительная частота питающего статор напряжения; $h = \frac{U_{SX}}{U_{SH}}$ — относительное напряжение на статоре двигателя; $S_x = \frac{\omega_{SX} - \omega}{\omega_{SX}} = 1 - \frac{\omega}{\omega_{SH} \cdot f_s^*}$ — скольжение при заданной частоте; $\beta = \frac{\omega_{SX} - \omega}{\omega_{SH}} = f_s^* \cdot \frac{\omega_{SX} - \omega}{\omega_{SX}} \cdot \frac{\omega_{SX}}{\omega_{SH}} = S_x \cdot f_s^*$ — абсолютное скольжение, характеризующее наклон механической характеристики при изменении частоты питающего напряжения.

Используя схему замещения (рис. 6.4,б) асинхронного двигателя при частотном регулировании, определяем ток фазы ротора:

$$I'_r = \frac{h \cdot U_{SH}}{\sqrt{(R_S + R'_r / S_x)^2 + (f_s^* \cdot x_k)^2}}, \quad (6.23)$$

где $x_k = x_{s\sigma} + x'_{r\sigma}$ — индуктивное сопротивление рассеяния цепи короткого замыкания.

Электромагнитная мощность трехфазного двигателя при частотном регулировании определяется выражением

$$P_{ЭМ} = 3 \cdot (I_r')^2 \cdot R_r' / S_X = M \cdot \omega_{SX} \quad (6.24)$$

Подставляя в выражение (6.24) значение тока (6.23) фазы ротора, получаем уравнение статической механической характеристики при частотном регулировании:

$$\begin{aligned} M_X &= \frac{3h^2 \cdot U_{SH}^2 \cdot R_r' / S_X}{f_S^* \cdot \omega_{SH} \left[(R_S + R_r' / S_X)^2 + (f_S^* \cdot x_k)^2 \right]} = \\ &= \frac{3h^2 \cdot U_{SH}^2 \cdot R_r' \cdot S_X}{f_S^* \omega_{SH} \left[(R_S \cdot S_X + R_r')^2 + (f_S^* \cdot x_k \cdot S_X)^2 \right]} \end{aligned} \quad (6.25)$$

Для расчета и построения механических характеристик найдем критический момент:

$$M_{KX} = \frac{3h^2 \cdot U_{SH}^2}{2 \cdot f_S^* \cdot \omega_{SH} \cdot \left[R_S \pm \sqrt{R_S^2 + (f_S^* \cdot x_k)^2} \right]} \quad (6.26)$$

В приведенных выражениях знак плюс относится к двигательному режиму, а знак минус – к генераторному режиму работы.

В качестве примера ниже приведен расчет механических характеристик асинхронного двигателя при частотном управлении. Параметры асинхронного двигателя серии 4АО90L2У3: $P_n = 4$ кВт; $n_c = 3000$ об/мин; $U_{SH} = 220$ В; $S_n = 0,04$; $R_S = 1,4$ Ом; $R_r' = 0,832$ Ом; $x_{\sigma\sigma} = 1,4$ Ом; $x_{\sigma\sigma} = 2,3$ Ом; $x_\mu = 95$ Ом.

Величина критического момента двигателя определяется из (6.26):

$$\begin{aligned} f_S^* &= 1; \\ h &= 1. \end{aligned} \quad M_K = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314 \cdot [1,4 + \sqrt{1,4^2 + 3,7^2}]} = 43,2 \text{ Нм.} \quad (6.27)$$

Уравнение для расчета угловой скорости ротора двигателя:

$$\omega = \omega_{SH} \cdot (1 - S_X) = 314 \cdot (1 - S_X). \quad (6.28)$$

Уравнение для расчета вращающего момента двигателя:

$$M_X = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,832 \cdot h^2 \cdot S_X}{314 \cdot \left[(1,4 \cdot S_X + 0,832)^2 + (3,7 \cdot f_S^* \cdot S_X)^2 \right] \cdot f_S^*} =$$

$$= \frac{384,73 \cdot h^2 \cdot S_X}{\left[(1,4 \cdot S_X + 0,832)^2 + (3,7 \cdot f_S^* \cdot S_X)^2 \right] \cdot f_S^*} \quad (6.29)$$

Используя уравнения (6.28 и 6.29), в программе MATLAB составлен скрипт для расчета и построения семейства механических характеристик (рис. 6.5).

```

%Задание величины скольжения, относительной частоты и напряжения:
s=[0.001:0.005:1];f=1;h=1;
%Вычисление угловой скорости вращения ротора, принимаем Wzn=314 рад/сек,
%обозначаем угловую скорость вращения ротора w=y:
[y1]=314*f*(1-s);
%Вычисление момента двигателя, обозначаем момент M=x:
[x1]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
%Вычисление угловой скорости и момента двигателя при f=0.8 и h=0.8:
s=[0.001:0.005:1];f=0.8;h=0.8;[y2]=314*f*(1-s);
[x2]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
%Вычисление угловой скорости и момента двигателя при f=0.6 и h=0.6:
s=[0.001:0.005:1];f=0.6;h=0.6;[y3]=314*f*(1-s);
[x3]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
%Вычисление угловой скорости и момента двигателя при f=0.4 и h=0.4:
s=[0.001:0.005:1];f=0.4;h=0.4;[y4]=314*f*(1-s);
[x4]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
%Вычисление угловой скорости и момента двигателя при f=0.2 и h=0.2:
s=[0.001:0.005:1];f=0.2;h=0.2;[y5]=314*f*(1-s);
[x5]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
%Построение семейства механических характеристик:
plot(x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4,x5,y5),grid
xlabel('x(Hm)'),ylabel('y(1/c)')

```

Рис. 6.5. Скрипт вычисления механических характеристик

Из приведенных характеристик (рис. 6.6) следует, что при снижении частоты уменьшается величина критического момента и снижается жесткость характеристик. Это обстоятельство объясняется тем, что с ростом нагрузки происходит падение напряжения на активном сопротивлении статорной обмотки. В свою очередь это приводит к уменьшению магнитного потока и, следовательно, к снижению электромаг-

нитного момента. Для сохранения постоянства критического момента двигателя необходимо величину питающего напряжения на статоре в процессе регулирования уменьшать в меньшей степени, чем частоту.

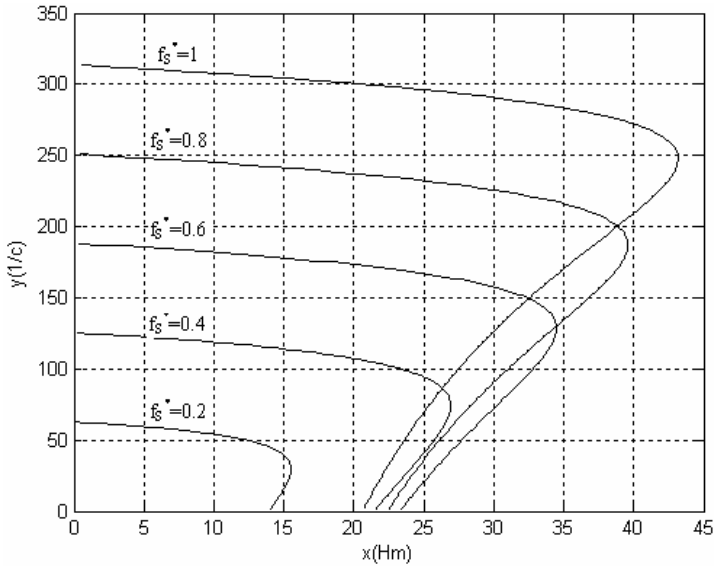


Рис. 6.6. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании $\frac{U_s}{f_s} = const$

Для построения механических характеристик при $M_k = const$ необходимо вычислить относительные величины напряжения на статоре двигателя при изменении частоты, используя следующее выражение:

$$43,2 = \frac{3 \cdot h^2 \cdot 220^2}{2 \cdot 314 \cdot f_s^* \cdot \left[1,4 + \sqrt{1,4^2 + (f_s^* \cdot 3,7)^2} \right]} \quad (6.30)$$

В ходе расчета получаем: 1) при $f_s^* = 0,2$ величина $h = 0,334$; 2) при $f_s^* = 0,4$ величина $h = 0,506$; 3) при $f_s^* = 0,6$ величина $h = 0,67$; 4) при $f_s^* = 0,8$ величина $h = 0,835$. Приведенные результаты расчета позволяют построить функциональную зависимость $h = \varphi(f_s^*)$ (рис. 6.7). Такая зависимость может быть реализована в системе пропорционального частотного регулирования с I_r -компенсацией, что обеспечивает

регулирование скорости вращения ротора с постоянным электромагнитным моментом.

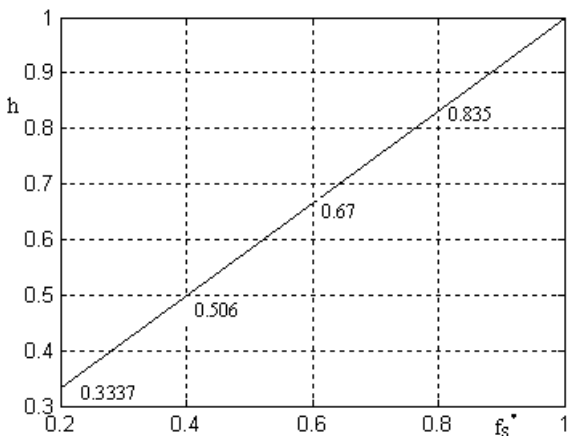


Рис. 6.7. Зависимость $h = \varphi(f_s')$

При частотном регулировании можно получать скорости вращения ротора выше синхронной скорости. Это достигается при питании статора напряжением с частотой выше 50 Гц (рис. 6.8). В этом случае допустимый электромагнитный момент двигателя в первом приближении уменьшается обратно пропорционально увеличению частоты, а скорость ротора увеличивается пропорционально частоте. Поэтому мощность на валу двигателя остается примерно постоянной. В связи с этим частотное регулирование выше номинальной частоты при постоянном напряжении на статоре относится к регулированию с постоянной мощностью.

```

s=[0.001:0.005:0.25];f=1;h=1;
[y1]=314*f*(1-s);
%Вычисление момента двигателя при снижении частоты:
[x1]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
s=[0.001:0.005:0.3];f=0.8;h=0.835;[y2]=314*f*(1-s);
[x2]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
s=[0.001:0.005:0.4];f=0.6;h=0.671;[y3]=314*f*(1-s);
[x3]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
s=[0.001:0.005:0.5];f=0.4;h=0.506;[y4]=314*f*(1-s);
[x4]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
s=[0.001:0.005:0.6];f=0.2;h=0.3337;[y5]=314*f*(1-s);
[x5]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
%Вычисление момента двигателя при увеличении частоты выше50Гц:
s=[0.001:0.005:0.3];f=1.2;h=1;[y6]=314*f*(1-s);
[x6]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
s=[0.001:0.005:0.25];f=1.4;h=1;[y7]=314*f*(1-s);
[x7]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
s=[0.001:0.005:0.2];f=1.6;h=1;[y8]=314*f*(1-s);
[x8]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
s=[0.001:0.005:0.2];f=1.8;h=1;[y9]=314*f*(1-s);
[x9]=384.73*h.^2*s./(((1.4*s+0.832).^2+(3.7*f*s).^2)*f);
plot(x1,y1,x2,y2,x3,y3,x4,y4,x5,y5,x6,y6,x7,y7,x8,y8,x9,y9),grid
xlabel('x(Hm)'),ylabel('y(1/c)')

```

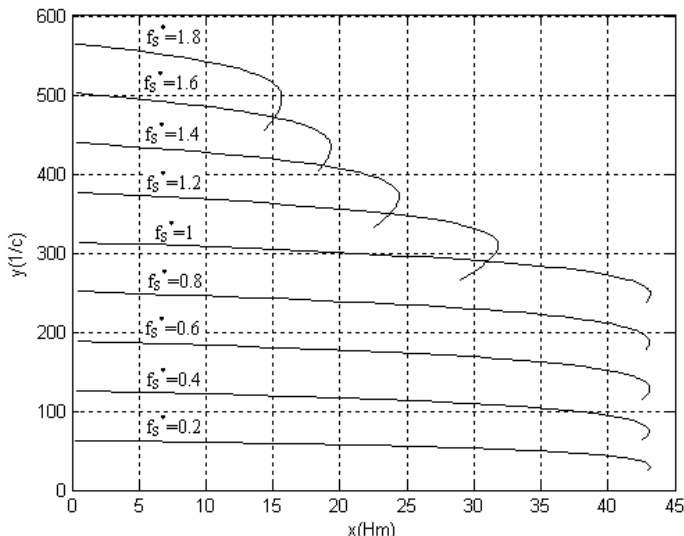


Рис. 6.8. Скрипт и механические характеристики при регулировании с I_r -компенсацией и с $P_c = \text{const}$

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Схема частотного управления асинхронным двигателем и зависимости функционального преобразователя.
4. Графики механических характеристик электропривода:
 - 1) без учета R_s ;
 - 2) с учетом IR-компенсации;
 - 3) при постоянстве P_c на валу.
5. Выводы.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип частотного управления асинхронным двигателем.
2. Назовите законы частотного управления асинхронным двигателем.
3. Особенности схемы замещения асинхронного двигателя при частотном управлении.
4. Принцип расчёта механических характеристик в программе MATLAB.
5. Жёсткость механических характеристик при скалярных законах частотного управления.
6. Для чего вводится IR-компенсация и как она работает?
7. Поясните принцип двухзонного регулирования скоростью вращения.
8. Назовите возможный диапазон регулирования скоростью асинхронного двигателя при скалярном частотном управлении.

Лабораторная работа 7

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Цель работы – изучить принципы построения системы управления, статические и динамические характеристики асинхронного частотного электропривода с векторным управлением и последовательной коррекцией.

Указания к самостоятельной работе

При подготовке к лабораторной работе необходимо по учебникам и конспектам лекций изучить тему «Электроприводы переменного тока с векторным управлением и последовательной коррекцией» [1; 2; 3].

Краткие теоретические сведения

1. Структурная схема электропривода с векторным управлением

Объектом исследования является асинхронный частотный электропривод с подчиненным векторным управлением по магнитному потоку сцепления ротора. Структурную схему такого объекта можно представить в виде двух частей: структурной схемы асинхронного двигателя во вращающейся системе координат (1, 2) и структурной схемы преобразователя частоты с каналами развязки и регулирования. Структурная схема асинхронного электродвигателя (рис. 7.1,а) имеет аналогию с машиной постоянного тока. Схема также содержит канал управления модулем потокоцепления ψ_r ротора и канал управления угловой скоростью ω вращения ротора. Однако каналы управления содержат перекрестные связи.

Для развязки каналов применена прямая компенсация путём введения в схему регулирования специальных сигналов коррекции f_1, f_2 и f_3 . Сигнал коррекции f_1 компенсирует влияние внутренней связи e_{T1} , сигнал f_2 – влияние внутренней связи e_{T2} , а сигнал f_3 – влияние ЭДС вращения e_ω асинхронного двигателя. Характер включения сигналов компенсации показан в схеме рис. 7.1,б. f_1, f_2 и f_3 , где

$$W_1(p) = \frac{L'_S p \Pi}{W_{UF}(p) k_T k_C}; \quad W_2(p) = \frac{p \Pi k_r}{W_{UF}(p) k_T k_C}, \quad (7.1)$$

где p_{Π} – число пар полюсов синхронного двигателя; $W_{UF}(p) = \frac{k_{\Pi}}{T_{\Pi} \cdot p + 1}$ – передаточная функция преобразователя частоты UF; k_{Π} и T_{Π} – соответственно коэффициенты усиления и эквивалентная постоянная времени.

Канал регулирования и стабилизации модуля потокосцепления ψ_r ротора содержит внутренний контур регулирования намагничивающей составляющей i_{s1} тока статора с датчиком тока UA и регулятором тока AA1, внешний контур регулирования с датчиком потокосцепления UΨ и регулятором потокосцепления AΨ. Канал регулирования скорости вращения выполнен двухконтурным, внутренний контур регулирования квадратурной составляющей i_{s2} тока статора с датчиком тока UA и регулятором тока AA2 подчинён внешнему контуру регулирования скорости вращения с датчиком скорости BR (тахогенератор) и регулятором скорости AR.

Выделение каналов регулирования и введение сигналов коррекции упрощает структурную схему и позволяет произвести оптимизацию параметров контуров регулирования.

2. Оптимизация контуров регулирования системы

Оптимизацию контуров регулирования производим на основе метода подчинённого регулирования параметров с последовательной коррекцией, хорошо зарекомендовавшего себя при синтезе систем автоматизированного электропривода постоянного тока.

Передаточная функция разомкнутого контура регулирования намагничивающей составляющей i_{s1} тока статора имеет вид

$$W_{TS1}(p) = W_{AA1}(p) \frac{k_n}{T_n p + 1} \cdot \frac{1/R'_S k_T}{T_S p + 1}, \quad (7.2)$$

где $W_{AA1}(p)$ – передаточная функция регулятора тока; k_n – коэффициент усиления преобразователя; T_n – постоянная времени преобразователя частоты;

$k_T = \frac{U'}{\lambda \cdot \sqrt{2} \cdot I_{нФ}}$ – коэффициент передачи датчика тока UA;

$\lambda = (1,7...2,5)$ – перегрузочная способность асинхронного двигателя; $I_{нФ}$ – номинальный фазный ток статора. Принимая величину T_{Π} равной некомпенсированной постоянной T_{μ} времени, выбираем в качестве регулятора тока ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{AA1}(p) = \frac{\tau_T p + 1}{T_{HT} p}. \quad (7.3)$$

Параметры регулятора $AA1$ рассчитываем и настраиваем по условиям технического оптимума по модулю. Для этого используем выражение передаточной функции оптимизированного контура:

$$W_{TSIO}(p) = \frac{1}{2T_\mu p(2T_\mu p + 1)}.$$

На основании равенства $W_{TSI} = W_{TSIO}$ находим параметры регулятора:

$$\tau_T = T_S \cdot T_{HT} = 2T_\mu k_n \frac{1}{R'_S} k_T. \quad (7.4)$$

Передаточная функция оптимизированного замкнутого контура регулирования i_{S1} записывается в виде

$$W_{OTS1}(p) = \frac{i_{S1}(p)}{i_{S1}(p)} = \frac{1/k_T}{2T_\mu^2 p^2 + 2T_\mu p + 1} = \frac{1/k_T}{2T_\mu p + 1}. \quad (7.5)$$

Модуль потокосцепления ротора определяем через модуль главного потокосцепления двигателя. Для этого определяем векторные выражения статорного тока, тока холостого хода и потокосцепление ротора ψ_r :

$$i_S = I_{SH} \cdot \cos \phi + j I_{SH} \cdot \sin \phi; \quad I_0 = j \frac{U_{SH}}{\omega \cdot L_S}, \quad (7.6)$$

$$\psi_r = \frac{1}{K_r} \cdot \psi_0 - L_{\sigma r} \cdot i_S = \frac{1}{K_r} \cdot L_m \cdot j \frac{U_{SH}}{\omega \cdot L_S} - L_{\sigma r} (I_{SH} \cdot \cos \phi + j I_{SH} \cdot \sin \phi). \quad (7.7)$$

При оптимизации контура регулирования модуля потокосцепления ротора учитываем только одну большую постоянную $T_r = L_r/R_r$, так как $T_{S1} > T_{S2}$ и $T_{S2} \cong T_{S0}$. Это позволяет получить передаточную функцию разомкнутого контура регулирования:

$$W_{OTS1}(p) = W_{A\Psi}(p) \frac{1/k_T \varepsilon L_m k_\Psi}{(2T_\mu p + 1)(T_{S1} p + 1)}, \quad (7.8)$$

где $W_{A\Psi}$ – передаточная функция регулятора модуля потокосцепления ротора; $\varepsilon = \frac{R'_S}{R_S}$; $k_\Psi = \frac{U'}{\Psi_{r_m}} = \frac{U'}{\sqrt{2} \cdot \psi_r}$ – коэффициент передачи датчика потокосцепления ротора; Ψ_{r_m} – максимальное значение модуля потокосцепления ротора.

Из (7.8) получаем передаточную функцию регулятора модуля потокоцепления ротора с настройкой параметров на технический оптимум по модулю

$$W_{A\Psi}(p) = \frac{\tau_{\Psi} p + 1}{T_{C\Psi} p}, \quad (7.9)$$

где $\tau_{\Psi} = T_{S1}$; $T_{C\Psi} = 4T_{\mu} \frac{1}{k_T} \varepsilon L_m k_{\Psi}$.

Оптимизация контура квадратурной составляющей i_{S2} тока статора в канале управления скоростью вращения двигателя производится аналогично оптимизации контура намагничивающей составляющей i_{S1} тока статора. В результате оптимизации имеем:

$$W_{OTS2}(p) = \frac{i_{S2}(p)}{U_{3S2}(p)} = \frac{\frac{1}{k_T}}{2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1} \cong \frac{\frac{1}{k_T}}{2T_{\mu} p + 1}. \quad (7.10)$$

Передаточная функция разомкнутого контура регулирования скорости вращения двигателя

$$W_C(p) = W_{AR}(p) \cdot \frac{\frac{1}{k_r}}{2T_{\mu} p + 1} \cdot \frac{3P_n k_r k_c \Psi_r}{2Jp}, \quad (7.11)$$

где $k_c = U' / \omega_0$ – коэффициент передачи тахогенератора BR; ω_0 – скорость холостого хода двигателя при максимальной частоте преобразователя UF.

Оптимизация контура может быть осуществлена включением в контур П-регулятора или ПИ-регулятора.

При включении в контур П-регулятора с настройкой параметров на технический оптимум по модулю получаем передаточную функцию оптимизированного контура в виде

$$W_{OCM}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{3C}(p)} = \frac{\frac{1}{k_C}}{8T_{\mu}^2 p^2 + 4T_{\mu} p + 1}. \quad (7.12)$$

При этом передаточная функция П-регулятора определяется выражением

$$W_{AR}(p) = k_{PC} = \frac{J k_T}{6T_{\mu} P_n k_r k_c \Psi_r}. \quad (7.13)$$

В случае применения для оптимизации ПИ-регулятора с настройкой параметров на симметричный оптимум передаточная функция замкнутого контура скорости вращения может быть представлена выражением

$$W_{occ}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{3c}(p)} = \frac{1/k_c}{8T_\mu^3 p^3 + 8T_\mu^2 p^2 + 4T_\mu p + 1}, \quad (7.14)$$

где $T_T = 2T_\mu$ – постоянная времени оптимизированного контура тока.

Выражение (7.14) получено при условии, что задающий сигнал U_{3c} подаётся через фильтр F с передаточной функцией

$$W_F(p) = \frac{1}{T_\phi p + 1} = \frac{1}{4T_\mu p + 1}. \quad (7.15)$$

Передаточная функция и постоянные времени ПИ-регулятора определяются в виде:

$$W_{AR}(p) = \frac{\tau_{ИС} p + 1}{T_{ИС} p}, \quad (7.16)$$

где $\tau_{ИС} = 4T_T; T_{ИС} = \frac{12T_T^2 p_n k_r k_c \psi_r}{k_T J}$.

Программа работы

1. Определить параметры структурной схемы электропривода и параметры регуляторов контуров регулирования.

2. Составить схему математической модели в системе MATLAB.

3. Исследовать режимы работы электропривода:

- 1) пуск электропривода при номинальной нагрузке на валу двигателя;
- 2) внезапный сброс нагрузки от M_n до 0.

4. По результатам пункта 3 построить кривые: скорости и электромагнитного момента [$\omega = f(t)$, $M = f(t)$]; статорные токи в неподвижной системе координат; статорные токи во вращающейся системе координат; построить динамическую и механическую характеристики пуска электропривода.

5. Дать сравнительный анализ полученных кривых.

Указания и пояснения к выполнению работы

1. Расчет параметров структурной схемы электропривода и регуляторов производится по исходным данным варианта, заданного преподавателем.

2. При расчетах транзисторный преобразователь частоты рассматривается как апериодическое звено с малой постоянной времени $T_\mu = 5 \cdot 10^{-4}$ с. Датчики тока ВА, скорости вращения ВР и потокосцепления Вψ рассматриваются безынерционными звеньями.

3. Для математического описания и моделирования асинхронного электропривода с частотным управлением обобщенные векторы величин асинхронного двигателя записываются в ортогональной системе координат α, β , неподвижной относительно статора

$$U_S = U_{S\alpha} + j \cdot U_{S\beta}; i_S = i_{S\alpha} + j \cdot i_{S\beta}; \psi_S = \psi_{S\alpha} + j \cdot \psi_{S\beta}; \psi_r = \psi_{r\alpha} + j \cdot \psi_{r\beta}. \quad (7.17)$$

Система координат α, β удобна при анализе систем, когда в цепи статора машины имеет место несимметрия, в частности, включены транзисторные ключи автономного инвертора или существует короткое замыкание статорных цепей. Кроме того, ось α совпадает с магнитной осью фазы a реальной асинхронной машины. Отсюда проекция тока $i_{S\alpha}$ будет равна реальному току двигателя.

4. Уравнение электромагнитного момента асинхронного двигателя в виде скалярного выражения:

$$M_{\mathcal{E}} = \frac{3}{2} \cdot p_{II} \cdot (\psi_{S\alpha} \cdot i_{S\beta} - \psi_{S\beta} \cdot i_{S\alpha}). \quad (7.18)$$

5. Уравнения асинхронного двигателя записываем в координатной системе α, β .

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{S\alpha}}{d\alpha} &= U_{S\alpha} - R_S \cdot i_{S\alpha}; & \frac{d\psi_{r\alpha}}{d\alpha} &= -R_r \cdot i_{r\alpha} - p_{II} \cdot \omega \cdot \psi_{r\beta}; \\ \frac{d\psi_{S\beta}}{d\alpha} &= U_{S\beta} - R_S \cdot i_{S\beta}; & \frac{d\psi_{r\beta}}{d\alpha} &= -R_r \cdot i_{r\beta} + p_{II} \cdot \omega \cdot \psi_{r\alpha}. \end{aligned} \right\} \quad (7.19)$$

$$\left. \begin{aligned} i_{S\alpha} &= \frac{1}{L'_S} \cdot \psi_{S\alpha} - \frac{k_r}{L'_S} \cdot \psi_{r\alpha}; & i_{r\alpha} &= -\frac{k_S}{L'_r} \cdot \psi_{S\alpha} + \frac{1}{L'_r} \cdot \psi_{r\alpha}; \\ i_{S\beta} &= \frac{1}{L'_S} \cdot \psi_{S\beta} - \frac{k_r}{L'_S} \cdot \psi_{r\beta}; & i_{r\beta} &= -\frac{k_S}{L'_r} \cdot \psi_{S\beta} + \frac{1}{L'_r} \cdot \psi_{r\beta}, \end{aligned} \right\} \quad (7.20)$$

где $L'_S = \sigma \cdot L_S$, $L'_r = \sigma \cdot L_r$, $k_S = \frac{L_m}{L_S}$ и $k_r = \frac{L_m}{L_r}$ – соответственно коэффициенты связи статора и ротора; $\sigma = \left(1 - \frac{L_m^2}{L_S \cdot L_r}\right) = (1 - k_S \cdot k_r)$ – коэффициент рассеяния.

6. Уравнение движения двигателя в одномассовой системе имеет вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J_{\Sigma}} \cdot (M_{\mathcal{E}} - M_C), \quad (7.21)$$

где J_{Σ} – приведенный суммарный момент инерции ротора и механизма; M_C – статический момент нагрузки.

7. Исходные данные для примера расчета коэффициентов и построения моделей: $P_H = 1,7$ кВт; $U_H = 220$ В; $I_H = 4,3$ А; $f = 50$ Гц; $p_n = 1$; $\cos\phi_n = 0,85$; $R_S = 3,57$ Ом; $R_r = 3,8$ Ом; $L_S = 0,2787$ Гн; $L_r = 0,2892$ Гн; $L_m = 0,2628$ Гн; $J = 0,00152$ кг · м²; $s_H = 0,07$; $k_S = 0,9429$; $k_r = 0,9087$; $\sigma = 0,1431$; $L'_r = 0,0413$ Гн; $L'_S = 0,0398$ Гн.

Математическая модель асинхронного двигателя построена по уравнениям (7.18)–(7.21) в системе координат (α, β) и приведена на рис. 7.2.

Входные напряжения $U_{\alpha a}$ и $U_{\beta b}$ подаются на входы In1 и in3.

Момент сопротивления нагрузки на валу двигателя создается блоком Step, сигнал от которого подается на вход In2. $\omega_0 = 314$ с⁻¹.

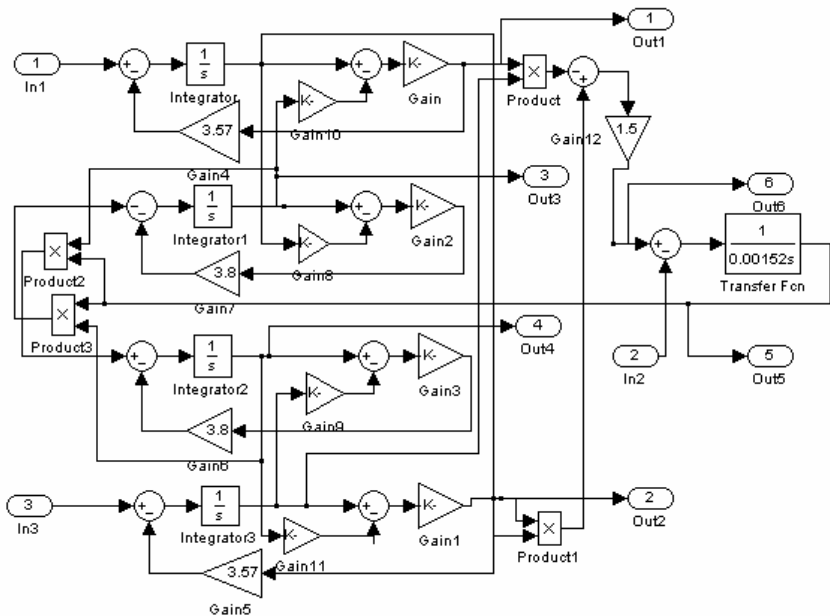


Рис. 7.2. Математическая модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе координат (α, β)

8. Расчет параметров системы регулирования структурной схемы (табл. 7.1).

Расчет параметров системы регулирования

№ п/п	Параметр	Расчет параметра
1	Вектор тока статора $\vec{i}_s = I_{SH} \cos \phi + j I_{SH} \sin \phi$	$\vec{i}_s = 4.3 \cdot 0.85 + j 4.3 \cdot 0.527 = (3.65 + j 2.26) A$
2	Вектор тока холостого хода $\vec{i}_o = j \frac{U_{SH}}{\omega \cdot L_s}$	$\underline{I}_o = j \frac{220}{314 \cdot 0.2787} = j 2,51 A$
3	Потокосцепление ротора $\underline{\Psi}_r = \frac{1}{K_r} \cdot \underline{\Psi}_0 - L_{\sigma r} \cdot \underline{i}_s$	$\underline{\Psi}_r = \frac{1}{0.908} \cdot 0.2628 \cdot j 2.51 - 0.0264(3.65 + j 2.26) = j 0.6653 - 0.0906$
4	Максимальное значение модуля потокосцепления ротора $\Psi_{rm} = \sqrt{2} \cdot \Psi_r$	$\Psi_{rm} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(0.6653^2 + 0.0906^2)} = 0.94 Bб$
5	Коэффициент передачи датчика потокосцепления $U\Psi$ $k_\Psi = \frac{U_{\Psi m}}{\Psi_{rm}}$	$k_\Psi = \frac{5}{0.93} = 5,326 B/Bб$
6	Коэффициент передачи датчика тока UA $k_T = \frac{U_{Tm}}{I_{Sm}}$	$k_T = \frac{5}{2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,3} = 0,33 B/A$
7	Коэффициент усиления транзисторного инвертора $k_{II} = \frac{k_a \cdot \sqrt{2} \cdot U_{\Phi II}}{U_H}$	$k_{II} = \frac{1,5 \cdot 1,41 \cdot 165}{5} = 93$
8	Параметры регулятора тока $T_s = \frac{L'_s}{R'_s} = \frac{\sigma \cdot L_s}{R_s + k_r^2 \cdot R_\gamma}$ $T_{III} = \frac{2 \cdot T_\mu \cdot k_{II} \cdot k_T}{R'_s}$	$\tau_r = T_s = 0.0059 c$ $T_s = \frac{0,2788 \cdot 0,1431}{3,57 \cdot 0,5087^2 \cdot 3,8} = 0,0059 c ;$ $T_{III} = \frac{2 \cdot 0,0005 \cdot 93 \cdot 0,33}{6,7} = 0,0045 c$
9	Параметры регулятора потокосцепления $T_r = \frac{L_r}{R_r} ; \quad \varepsilon = \frac{R'_s}{R_s}$ $T_{IV\Psi} = \frac{4T_\mu \cdot \varepsilon \cdot L_m \cdot k_\Psi}{k_T}$	$\tau_\Psi = T_r = 0,076 c ; T_r = \frac{0,2892}{3,8} = 0,076 c ;$ $T_{IV\Psi} = \frac{4 \cdot 0,0005 \cdot 0,493 \cdot 5,376}{0,33} = 0,016 c .$ $K_{r\Psi} = \frac{\tau_\Psi}{T_{IV\Psi}} = \frac{0,076}{0,016} = 4,75$

№ п/п	Параметр	Расчет параметра
10	Коэффициент передачи датчика скорости $k_c = \frac{U_{cm}}{\omega_0}$	$k_c = \frac{5}{314} = 0,0159 \frac{B}{рад/с}$
11	Параметры регулятора скорости $k_{pc} = \frac{J \cdot k_r}{6 \cdot k_r \cdot T_\mu \cdot k_c \cdot p_{II} \cdot \psi_r}$	$k_{pc} = \frac{0,00152 \cdot 0,33}{6 \cdot 0,91 \cdot 0,0005 \cdot 0,0159 \cdot 0,94} = 11,54$

9. В процессе моделирования и исследования применяется полная схема моделирования асинхронного электропривода, в которой используется модель асинхронного электропривода в неподвижной системе координат (α, β) и система регулирования с прямым и обратным координатными преобразователями и ориентацией вращающихся координат по вектору ψ_r ротора.

Схема модели асинхронного электропривода с векторным управлением и преобразователями координат приведена на рис. 7.3. Схема содержит полную модель асинхронного двигателя (Subsystem 3), прямой и обратный преобразователи координат (Subsystem 2 и Subsystem 1), вектор – фильтр VF (Real – Imag to Complex, Complex to Magnitude – Angle), канал стабилизации модуля ψ_r вектора потокосцепления ротора и канал регулирования угловой скорости $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ вращения ротора. Полная модель асинхронного двигателя (Subsystem 3) соответствует модели асинхронного двигателя (рис. 7.2).

Прямой координатный преобразователь (Subsystem 2) преобразует составляющие $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ статорного тока неподвижной системы координат (α, β) в составляющие i_{s1}, i_{s2} статорного тока вращающейся системы координат $(1, 2)$ в соответствии с уравнениями:

$$i_{s1} = i_{s\alpha} \cos\gamma + i_{s\beta} \sin\gamma; \quad (7.22)$$

$$i_{s2} = -i_{s\alpha} \sin\gamma + i_{s\beta} \cos\gamma.$$

Обратный координатный преобразователь (Subsystem 1) обеспечивает преобразование сигналов U_{s1}, U_{s2} постоянного тока, вращающейся системы координат $(1, 2)$ в сигналы $U_{s\alpha}, U_{s\beta}$ переменного тока неподвижной системы координат (α, β) .

$$\left. \begin{aligned} U_{S\alpha} &= U_{S1} \cdot \cos \gamma - U_{S2} \cdot \sin \gamma, \\ U_{S\beta} &= U_{S1} \cdot \sin \gamma + U_{S2} \cdot \cos \gamma. \end{aligned} \right\} \quad (7.23)$$

Вектор-фильтр VF с помощью блока Real – Imag to Complex преобразует составляющие $\psi_{r\alpha}$, $\psi_{r\beta}$ модуля вектора потокосцепления ротора в вектор $\underline{\psi}_r$, а затем посредством блока Complex to Magnitude – Angle вычисляет модуль ψ_r и текущий угол γ состояния вектора.

Канал стабилизации модуля ψ_r вектора потокосцепления ротора состоит из внутреннего контура регулирования намагничивающей i_{S1} составляющей статорного тока и внешнего контура регулирования модуля ψ_r потокосцепления ротора. Контур регулирования i_{S1} содержит датчик $BA1$ тока и регулятор $AA1$ тока, а контур регулирования ψ_r – преобразователь $U\psi$ модуля потокосцепления и регулятор модуля потокосцепления, включающий два регулятора, соединенных параллельно: пропорциональный регулятор $P - A\psi$ и интегральный регулятор $I - A\psi$. Канал регулирования скорости вращения содержит внутренний контур регулирования квадратурной i_{S2} составляющей статорного тока (датчик BA тока и регулятор $AA2$ тока) и внешний контур регулирования скорости вращения ротора (тахогенератор BR , регулятор AR скорости вращения и блок токоограничения Saturation).

Модель системы управления, кроме преобразователя частоты и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполняется во вращающейся системе координат, где действуют сигналы постоянного тока. Это дает возможность строить контуры регулирования по принципам подчиненного регулирования и использовать в контурах стандартные настройки регуляторов, разработанные для приводов постоянного тока. Такой подход к расчету можно применить в канале стабилизации модуля потокосцепления ротора и в канале регулирования электромагнитного момента.

Снятие кривых переходного процесса при пуске системы электропривода и сбросе нагрузки производится с помощью Score 1, Score 2 и Score 3.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Программа работы.
3. Функциональная схема электропривода.
4. Структурная схема модели электропривода.
5. Кривые переходных процессов при пуске электропривода и изменении нагрузки.
6. Кривая динамической и механической характеристик пуска электропривода.
7. Выводы по работе.

Вопросы для самоконтроля

1. Поясните принцип частотного векторного управления асинхронным двигателем.
2. Укажите достоинства и недостатки системы векторного управления без датчиков магнитного потока сцепления асинхронного двигателя.
3. Поясните назначение блоков преобразования координат.
4. Какие существуют стандартные настройки для контуров тока и скорости?
5. Как изменится механическая характеристика электропривода при ступенчатом увеличении момента нагрузки, если в контур скорости включен ПИ-регулятор?
6. Вид механических характеристик электропривода с ПИ-регулятором тока и ПИ-регулятором скорости.
7. В силовой цепи питания преобразователя произошло уменьшение напряжения на 10%. Как качественно изменятся статические и динамические характеристики электропривода?

Библиографический список

1. Терехов, В.М. Системы управления электроприводами : учеб. для вузов / В.М. Терехов. – М. : Академия, 2005. – 304 с.
2. Электроприводы переменного тока с частотным управлением : учеб. пособие / В.А. Денисов. – Тольятти : ТГУ, 2009. – 119 с.
3. Денисов, В.А. Управление электроприводами: учеб. пособие / В.А. Денисов. – Тольятти : ТолПИ, 1998. –262 с.
4. Асинхронные двигатели серии 4А : справочник / А.Э. Кравчик [и др.]. – М. : Энергоиздат, 1982. – 504 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ.....	4
Лабораторная работа 2. АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	18
Лабораторная работа 3. ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА.....	29
Лабораторная работа 4. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	36
Лабораторная работа 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ.....	43
Лабораторная работа 6. МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	47
Лабораторная работа 7. ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ.....	60
Библиографический список.....	73

Учебное издание

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Лабораторный практикум

Составитель

Денисов Владимир Андреевич

Технический редактор *З.М. Малявина*

Корректор *Г.В. Данилова*

Вёрстка: *Л.В. Сызганцева*

Дизайн обложки: *Г.В. Карасева*

Подписано в печать 26.03.2012. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 4,36.

Тираж 100 экз. Заказ № 1-34-11.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445667, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14

