

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНОГО ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ВЫПОЛНЕННОГО НА ОСНОВЕ МНОГОПУЛЬСНОГО ИНВЕРТОРА ТОКА

Запропонована методика побудови комп'ютерної моделі електропривода змінного струму на основі двадцятичотирьохпульсного автономного інвертора струму. На основі розробленої методики створена Matlab-модель частотно-регульованого електропривода, що здатна працювати у квазістатичних і перехідних режимах.

Предложена методика построения компьютерной модели электропривода переменного тока на основе двадцатичетырехпульсного автономного инвертора тока. На основе разработанной методики создана Matlab-модель частотно-регулируемого электропривода, способная работать в квазистационарных и переходных режимах.

ВВЕДЕНИЕ

В современных частотно регулируемых электроприводах большой мощности широкое применение получили преобразователи частоты на основе многоуровневых инверторов напряжения и диодных неуправляемых выпрямителей с емкостным фильтром [1-4]. Основным достоинством многоуровневых преобразователей является возможность применения силовых схем инверторов без последовательного включения транзисторов при средних номинальных напряжениях нагрузки. Наряду с этим не исчерпала своих возможностей в области электроприводов большой мощности давно известная схема автономного инвертора тока с отсекающими диодами (АИТ-ОД) [5].

К недостаткам преобразователя частоты на основе АИТ-ОД и шестипульсного мостового управляемого выпрямителя следует отнести несинусоидальность и сдвиг по фазе относительно напряжения основной гармоники сетевого тока. Однако в мощном многопульсном преобразователе частоты форма сетевого тока становится практически синусоидальной.

Достоинствами схемы являются:

- возможность глубокого регулирования скорости вращения вала машины переменного тока (асинхронной или синхронной) при использовании частотных методов регулирования;
- возможность возврата (рекуперации) энергии электрической машины в питающую сеть;
- использование коммутатора, выполненного на одноперационных тиристорах, что позволяет создавать схемы, рассчитанные на большие токи в ключах;
- длинный (до 150 м) кабель между тиристорным мостом и нагрузкой.

Как известно, для снижения влияния тиристорного управляемого выпрямителя на питающую сеть, необходимо увеличивать его пульсность. Увеличение пульсности схемы АИТ-ОД также благоприятно сказывается на качестве напряжений и токов машины переменного тока, питаемой от такого преобразователя.

В данной статье рассматривается преобразователь частоты, выполненный по 24-х пульсной симметричной схеме, питаемый от трехфазной сети переменного тока, мощностью $K3\ 250MVA$ и действующим значением линейного напряжения $10kV$, нагруженный на асинхронный двигатель (АД), мощностью $8MW$ с номинальным действующим значением линейного напряжения статора $10kV$.

Моделирование электромагнитных процессов в мощных полупроводниковых преобразователях на

начальной стадии проектирования получило широкое распространение. Моделирование позволяет качественно оценить работу всей преобразовательной системы, включая питающую сеть, коммутатор, машину с исполнительным механизмом и систему автоматического регулирования, произвести, в случае необходимости, коррекцию расчетных параметров, настроить контуры регулирования. Современный уровень развития средств компьютерного моделирования позволяет создавать виртуальные модели, имитирующие с высокой точностью процессы в промышленных образцах преобразовательных систем как в статических, так и в динамических режимах в реальном масштабе времени.

Разработанная 24-х пульсная Matlab-модель позволяет анализировать процессы в системе электропривода при широком диапазоне изменения параметров силовой схемы и системы автоматического управления. В модели предусмотрены блоки для определения коэффициентов несинусоидальности токов и напряжений на входе и выходе преобразователя, а также для расчета КПД преобразователя с учетом потерь энергии во всех элементах схемы, включая кабели, трансформаторы, реакторы, тиристоры, диоды и снабберы.

СХЕМА СИЛОВОЙ ЦЕПИ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТОВ АИТ-ОД

Структурная схема АИТ-ОД преобразователя приведена на рис. 1.

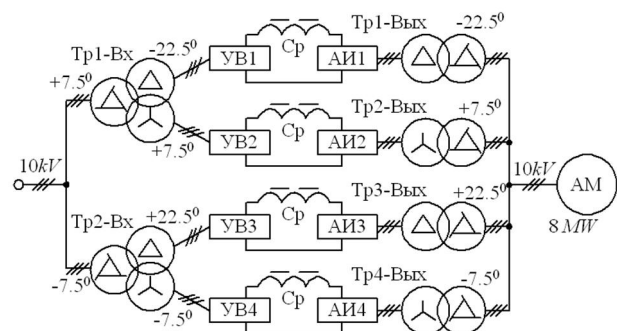


Рис. 1. Структурная силовая схема электропривода на основе АИТ-ОД

Схема представляет собой четыре однотипных ячейки мощностью $2MW$, каждая из которых состоит, в свою очередь, из шестипульсного мостового тиристорного управляемого выпрямителя (УВ), питающего через сглаживающий реактор (Ср) трехфазную шестипульсную схему автономного инвертора тока с

отсекающими диодами. Номинальное линейное напряжение на входе УВ и выходе АИТ-ОД составляет 690V, номинальный ток в звене постоянного тока – 2500А. Ячейки потенциально разделены со входным источником питания и нагрузкой входным и выходным трансформаторами. Трансформаторы, посредством схем соединения обмоток, создают во входной и выходной цепях структуры соответствующий фазовый сдвиг токов ячеек, обеспечивая двадцатичетырехпульсный режим работы по входу и по выходу.

Для получения 24-х пульсного режима работы по входной цепи необходимо обеспечить фазовый сдвиг в 15 эл.град. между трехфазными системами линейных напряжений вентильных обмоток входных трансформаторов, питающих четыре ячейки структуры. Для этого из нескольких возможных вариантов была выбрана симметричная схема, состоящая из двух трехобмоточных трансформаторов, сетевые обмотки которых соединены в зигзаг, обеспечивающий фазовый сдвиг на +7.5 и -7.5 эл.град. соответственно. Одна из двух вентильных обмоток обоих трансформаторов соединена в звезду, а другая – в треугольник. Отметим, что в трансформаторе с фазовым сдвигом зигзага на +7.5 эл.град., треугольник должен иметь фазовый сдвиг -30 эл.град., а в трансформаторе с фазовым сдвигом зигзага на -7.5 эл.град., треугольник должен иметь фазовый сдвиг +30 эл.град. соответственно. В результате на вентильных обмотках в четырех ячейках схемы получают симметричные трехфазные системы напряжений с фазовым сдвигом относительно сетевого напряжения в -22.5, +7.5, +22.5 и -7.5 эл.град. соответственно (см. рис. 1). Очевидно, что данные системы трехфазных напряжений имеют фазовый сдвиг друг относительно друга в 15 эл.град., что обеспечивает 24-х пульсный режим работы по входной цепи. Также можно отметить, что выбранная схема питания ячеек имеет фазовые сдвиги, симметричные относительно напряжения питающей сети.

Вместо двух трехобмоточных трансформаторов можно использовать четыре двухобмоточных с соединением сетевых обмоток в зигзаг, а вентильных - в звезду и треугольных таким образом, чтобы обеспечить описанный выше фазовый сдвиг.

Схема выходных трансформаторов аналогична входной схеме с тем лишь отличием, что в ней изначально используются четыре двухобмоточных трансформатора, со схемой соединения обмоток, обращен-

ных к АМ, в зигзаг (у двух трансформаторов со сдвигом в +7.5эл.град., а у двух других в -7.5эл.град.), а обмоток, обращенных к АИТ-ОД – в звезду или треугольник в точном соответствии со входной цепью. Выходные трансформаторы аналогичны входным, обеспечивая фазовый сдвиг в -22.5, +7.5, +22.5 и -7.5 эл.град. симметричных трехфазных систем напряжений на выходах четырех ячеек АИТ-ОД относительно 3-х фазной системы напряжений на статоре АМ, что обеспечивает эквивалентный 24-х пульсный режим работы выходной цепи схемы.

При практической реализации описанной выше структуры учтем несколько важных моментов.

Так как трехфазные системы напряжений выпрямителя и выходной цепи инвертора разделены звеном постоянного тока с большой индуктивностью, схема соединения обмоток входного и выходного трансформатора отдельной ячейки не обязательно должна быть симметричной. Важно, чтобы соблюдался фазовый сдвиг в 15 эл.град. между симметричными 3-х фазными системами напряжений на входах всех выпрямителей и, соответственно, на выходах всех инверторов, а также обеспечивался симметричный сдвиг в -22.5, +7.5, +22.5 и -7.5 эл.град. трехфазных напряжений, питающих выпрямитель, относительно сети и выходных напряжений инверторов относительно напряжения статора АМ.

Системы управления ячейками выпрямителей должны синхронизироваться напряжениями вентильных обмоток питающих трансформаторов или, в случае синхронизации с напряжением питающей сети, обеспечить начальный фазовый сдвиг управляющих импульсов, соответствующий фазовому сдвигу системы питания ячейки относительно сетевого напряжения.

Система управления автономных инверторов должна обеспечить фазовый сдвиг выходного напряжения ячейки, соответствующий фазовому сдвигу относительно напряжения статора АМ, предусмотренному схемой соединения обмоток выходного трансформатора ячейки.

Так как схемы соединения четырех ячеек структуры, представленной на рис. 1, идентичны, рассмотрим параметры основных элементов схемы на примере одной из ячеек для случая применения двухобмоточных трансформаторов во входной и выходной цепи. Принципиальная схема ячейки приведена на рис. 2.

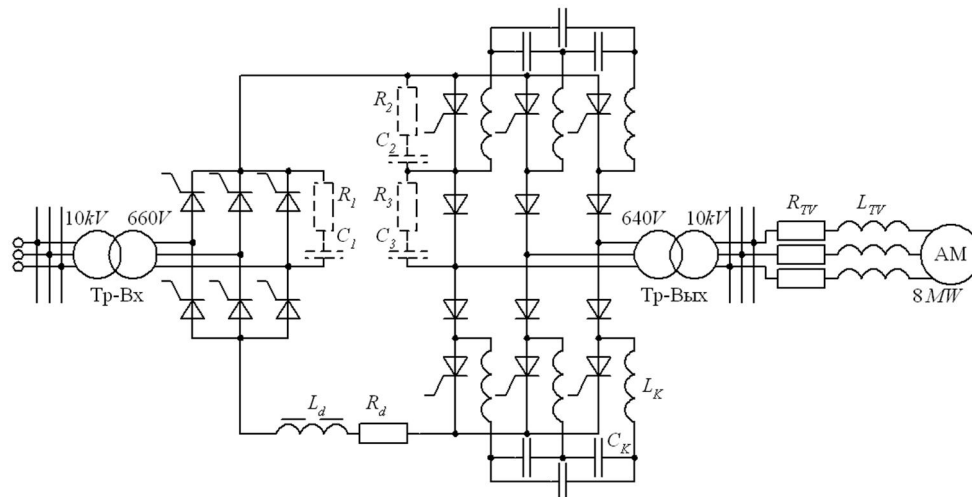


Рис. 2. Принципиальная схема ячейки АИТ-ОД

Схема запитана от симметричного 3-х фазного источника переменного напряжения частотой 50Hz с мощностью короткого замыкания в точке подключения преобразователя $P_{K3}=250\text{MVA}$ и действующим значением линейного напряжения $U_S=10\text{kV}$. Исходя из этого, для дальнейших расчетов принимаем активное сопротивление питающей сети $R_S=0$, индуктивность питающей сети $L_S=1.27 \cdot 10^{-3}\text{H}$.

Во входной ячейке используется трансформатор мощностью $P_H=2600\text{kVA}$ с действующим значением линейных напряжений сетевой и вентиляльной обмоток $U_1=10\text{kV}$ и $U_2=660\text{V}$ соответственно и относительным напряжением короткого замыкания $e_K=8\%$.

В выходной ячейке используется трансформатор мощностью $P_H=2600\text{kVA}$ с действующим значением линейных напряжений сетевой и вентиляльной обмоток $U_1=10\text{kV}$ и $U_2=660\text{V}$ соответственно и относительным напряжением короткого замыкания $e_K=3\%$.

В вентильном комплекте используются однооперационные тиристоры и диоды. Для дальнейших расчетов принимаем, что в одном плече мостового преобразователя установлен один тиристор и один диод. В выпрямительном мосте используются однооперационные тиристоры со следующими параметрами: прямое падение напряжения $V_f=1.2\text{V}$, сопротивление в открытом состоянии $R_{ON}=0.116\text{m}\Omega$. Тиристоры снабжены цепями защиты (снабберами) с сопротивлением $R_S=24.6\Omega$, емкостью $C_S=0.1\mu\text{F}$. В инверторном мосте используются однооперационные тиристоры со следующими параметрами: прямое падение напряжения $V_f=1.25\text{V}$, сопротивление в открытом состоянии $R_{ON}=0.136\text{m}\Omega$. Тиристоры снабжены цепями защиты (снабберами) с сопротивлением $R_S=12.3\Omega$, емкостью $C_S=0.31\mu\text{F}$. Также используются отсекающие диоды со следующими параметрами: прямое падение напряжения $V_f=1\text{V}$, сопротивление в открытом состоянии $R_{ON}=80\mu\Omega$. Диоды снабжены цепями защиты (снабберами) с сопротивлением $R_S=24.6\Omega$, емкостью $C_S=0.1\mu\text{F}$.

На выходе выпрямителя установлен сглаживающий реактор с индуктивностью $L_d=1.5\text{mH}$ и активным сопротивлением $R_d=1.5\text{m}\Omega$.

В схеме АИТ-ОД используются коммутирующие конденсаторы, емкостью $C_K=1372\mu\text{F}$. Последовательно с ними включены токоограничивающие дроссели с индуктивностью $L_K=7\mu\text{H}$.

Преобразовательный комплект соединен с асинхронной машиной трехжильным кабелем длиной 150m с активным сопротивлением $R_{TV}=0.0526\Omega$ и индуктивностью $L_{TV}=75\mu\text{H}$.

Асинхронная машина имеет следующие параметры: номинальная мощность $P_H=8\text{MVA}$; номинальное линейное напряжение обмоток статора $U_{SH}=10\text{kV}$; номинальная частота питающего напряжения $f_H=50\text{Hz}$; номинальная частота вращения ротора 2985r/min. ; относительное сопротивление и индуктивность обмотки статора $R_S^*=0.00409$ и $L_S^*=0.0857$; относительное сопротивление и индуктивность ротора $R_R^*=0.04$ и $L_R^*=0.1366$; относительная индуктивность взаимной индукции $L_m^*=4.38$; число пар полюсов $p=1$.

MATLAB-МОДЕЛЬ АИТ-ОД

В соответствии с описанной выше структурой, в программном пакете *MatLab/Simulink* была составлена модель АИТ-ОД с асинхронной машиной в качестве нагрузки, приведенная на рис. 3.

Отличием модели по рис. 3 от структуры на рис. 1 является наличие четырех двухобмоточных трансформаторов на входе вместо двух трехобмоточных, что обусловлено отсутствием в пакете *SimPwterSys* моделей трехобмоточных трансформаторов с возможностью задания схемы соединением обмоток в зигзаг. Однако, как было отмечено выше, такая замена является вполне допустимой с точки зрения алгоритма работы системы в целом в случае соблюдения необходимого фазового сдвига напряжений вентиляльных обмоток четырех ячеек относительно входного напряжения.

Так как схема модели по рис. 3 составлена в точном соответствии с описанной выше структурой и в неё заложены приведенные ранее параметры элементов, опишем лишь назначение её блоков.

Питающая сеть моделируется трёхфазным источником переменного напряжения с последовательно включенными в фазы реакторами.

Между источником и общей точкой соединения четырех ячеек структуры включен блок измерителей мгновенных фазных токов и напряжений, позволяющий оценить влияние преобразователя на питающую сеть в любом интервале времени.

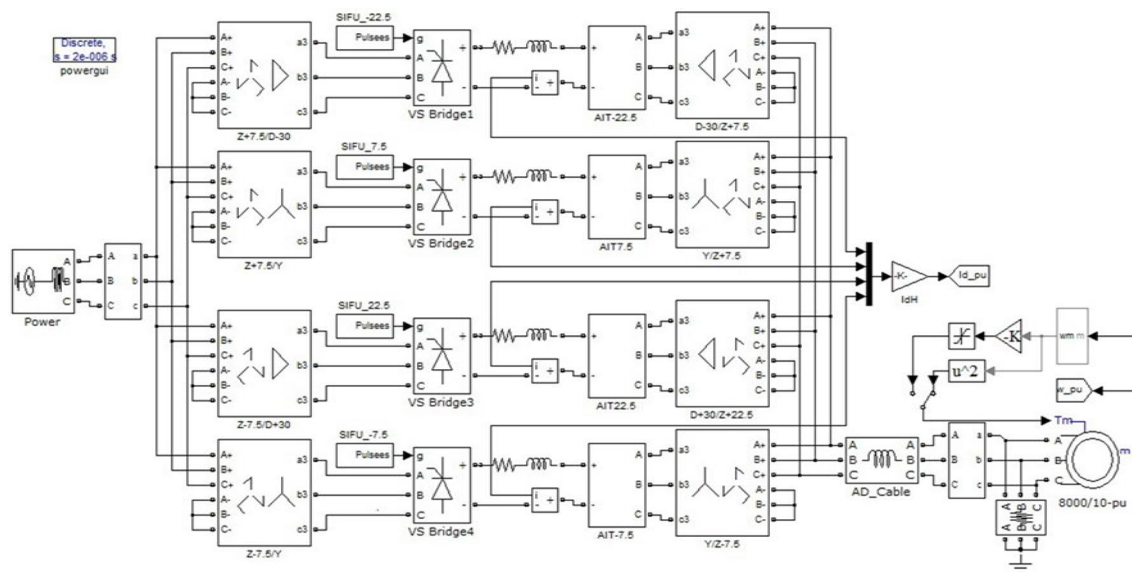


Рис. 3. Matlab-модель АИТ-ОД

Четыре ячейки структуры моделируются однотипно. Каждая имеет на входе трехфазный двухобмоточный трансформатор с соединением сетевой обмотки в зигзаг, а вентиляльной – в треугольник или звезду. Схема соединения обмоток указана на блоке трансформатора, а фазовые сдвиги указаны в подписи к блоку. По аналогичному принципу моделируются и выходные трансформаторы ячеек (см. рис. 3).

Схема шестипульсного мостового управляемого выпрямителя моделируется стандартным блоком *Universal Bridge*, на который подаются управляющие импульсы от вертикальной системы импульсно-фазового управления с косинусоидальной характеристикой ФСУ. Фазовый сдвиг опорных напряжений ФСУ относительно напряжения питающей сети указан в названии системы управления каждой из ячеек.

В цепь постоянного тока включены индуктивное и активное сопротивление, величины которых соответствует L_d и R_d . Туда же включен измеритель тока цепи, необходимый для работы системы автоматиче-

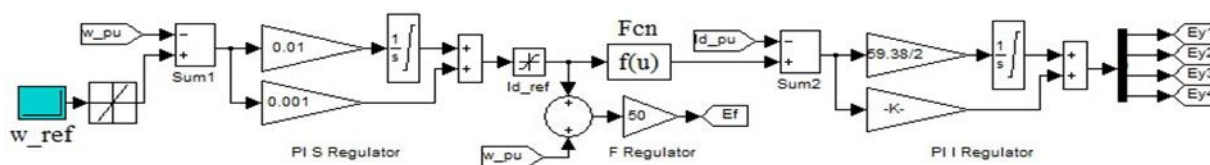


Рис. 4. Matlab-модель САР АИТ-ОД

Асинхронная машина моделируется стандартным блоком *SimPwVerSys* в относительных единицах. Параметры её модели заданы в соответствии с данными, приведенными выше. Характер момента нагрузки, приложенного к валу машины, может быть отмоделирован либо жестким заданием момента (в относительных единицах), либо зависимостью так называемого "вентиляторного" характера, при котором момент, приложенный к валу машины, пропорционален квадрату относительной частоты его вращения. Отметим, что для моделирования использовалась нагрузка с вентиляторной характеристикой, соответствующая реальному объекту.

MATLAB-МОДЕЛЬ САР АИТ-ОД

Система автоматического регулирования (САР) преобразователем, предназначенная для осуществления частотного пуска АМ и поддержания заданной скорости вращения его вала при заданной величине нагрузки, выполнена по скалярному принципу. Структура скалярной системы автоматического регулирования при этом строится по принципу подчиненного двухинтегрирующего регулятора тока скольжения, модель которого приведена на рис.4.

Входным сигналом САР является сигнал задания частоты вращения ротора АМ, поступающий из блока w_{ref} на задатчик интенсивности, с выхода которого поступает на устройство сравнения $Sum1$, где из него вычитается сигнал обратной связи датчика угловой скорости вращения ротора АМ. Разностный сигнал поступает на пропорционально-интегральный регулятор скольжения *PI_S_Regulator*, вырабатывающий сигнал, пропорциональный скольжению двигателя. Выходной сигнал регулятора скольжения, ограниченный на уровне номинально скольжения асинхронной машины (для исследуемой машины – 0.5%), поступает одновременно на два внутренних контура регулирования – регулятор выходной частоты АИТ-ОД и регулятор тока УВ.

На входе пропорционального регулятора частоты *F_Regulator* сигнал задания скольжения суммируется

ского регулирования схемы и контроля мгновенного значения постоянного тока схемы.

На выходе звена постоянного тока включен блок, моделирующий схему АИТ-ОД и её систему управления. Внутреннее содержимое блока полностью соответствует схеме АИТ-ОД, приведенной на рис. 2. В диалоговом окне блока можно задать величину коммутационной ёмкости конденсатора и индуктивности реактора в контуре коммутации тока C_K и L_K а также фазовый сдвиг выходных напряжений инвертора относительно напряжения статора АМ. Установленный в соответствии со схемой соединения обмоток выходного трансформатора фазовый сдвиг выходных напряжений инверторов указан в названии блоков.

Блок *AD_Cable* моделирует индуктивность и активное сопротивление трехжильного кабеля L_{TV} и R_{TV} , соединяющего преобразователь с асинхронной машиной. На входе АМ включен блок измерителей мгновенных фазных токов и напряжений статора.

с сигналом обратной связи по угловой скорости ротора АМ. Результирующий сигнал, определяющий задание синхронной скорости АД, подается на систему управления автономным инвертором, задавая его выходную частоту. Отметим следующее: несмотря на то, что регулятор частоты АИТ-ОД подчинен регулятору скольжения, выходной сигнал регулятора скольжения не является задающим для регулятора частоты, т.к. на него вводится не отрицательная, а положительная связь по угловой скорости.

Поскольку электромагнитный момент двигателя пропорционален квадрату тока статорной обмотки ($M \cong I_S^2$), который, в свою очередь, пропорционален абсолютному скольжению ($I_S^2 \cong S_a$), выходной сигнал регулятора скольжения пропорционален S_a и является сигналом задания электромагнитного момента АД. Ограничением выходного сигнала регулятора скольжения можно воздействовать на ограничение максимального момента АД.

Прежде чем поступить на регулятор тока, выходной сигнал регулятора скольжения проходит через функциональный преобразователь *Fcn*, определяющий задание тока статора I_S в функции абсолютного скольжения S_a . Эта зависимость является нелинейной функцией, которая на рабочем участке механической характеристики АД отвечает условию $I_S^2 \cong S_a$. Кривые этих зависимостей симметричны относительно оси тока (задания тока), что определяется симметрией механических характеристик АД в двигательном и генераторном режимах работы. Коэффициент передачи функционального преобразователя определяется соотношением

$$k_{\Phi\Pi} = \sqrt{\left(\frac{U_{3.T\max}}{U_{3.T\min}}\right)^2 - 1} / S_{KT}, \quad (1)$$

где $U_{3.T\max}$ – сигнал, определяющий задание максимального тока статора; $U_{3.T\min}$ – сигнал, определяю-

щий задание минимального тока статора, равного току холостого хода исследуемой машины; S_{KT} – критическое скольжение АД.

Выходной сигнал функционального преобразователя поступает на устройство сравнения *Sum2*, где из него вычитается сигнал обратной связи от датчика постоянного тока на выходе УВ. Разностный сигнал поступает на пропорционально-интегральный регулятора тока *PI_I_Regulator*, вырабатывающий сигнал управления e_V для системы импульсно-фазового управления УВ. В описываемой модели один и то же сигнал задания тока сравнивается с четырьмя сигналами обратной связи четырех ячеек структуры, в результате чего вырабатываются четыре сигнала задания для четырех УВ. Т.е. можно сказать, что реализованы четыре регулятора тока с одинаковыми параметрами и общим сигналом задания для каждой из ячеек преобразователя.

ДЕМОНСТРАЦИЯ РАБОТЫ МАТЛАВ-МОДЕЛИ АИТ-ОД

Синтезированная Matlab-модель позволяет исследовать работу электропривода на основе АИТ-ОД как в статических, так и в динамических режимах, получать машинограммы токов и напряжений на лю-

бых элементах схемы, рассчитывать требуемые характеристики и параметры схемы, вносить, при необходимости, коррективы в её работу.

На рис. 5, 6 приведены машинограммы токов и напряжений питающей сети и обмотки статора асинхронной машины в установившемся режиме работы, снятые для фазы А при частотах на выходе инверторов 25 и 50 Гц соответственно. Из рисунков видно, что формы кривых тока и напряжения статора асинхронной машины, а также фазного тока и напряжения питающей сети близки к синусоидальной. Это обеспечивается применением 24-х пульсной структуры преобразователя по входу и выходу без использования специальных фильтров.

Качественно, охарактеризовать схему можно с помощью коэффициентов несинусоидальности фазных токов и напряжений питающей сети и обмоток статора асинхронной машины, а также коэффициента полезного действия преобразователя.

В табл. 1. представлены результаты расчета коэффициентов несинусоидальности токов и напряжений на входе и выходе преобразователя, а также коэффициента полезного действия при изменении частоты на выходе от 15 до 50 Hz.

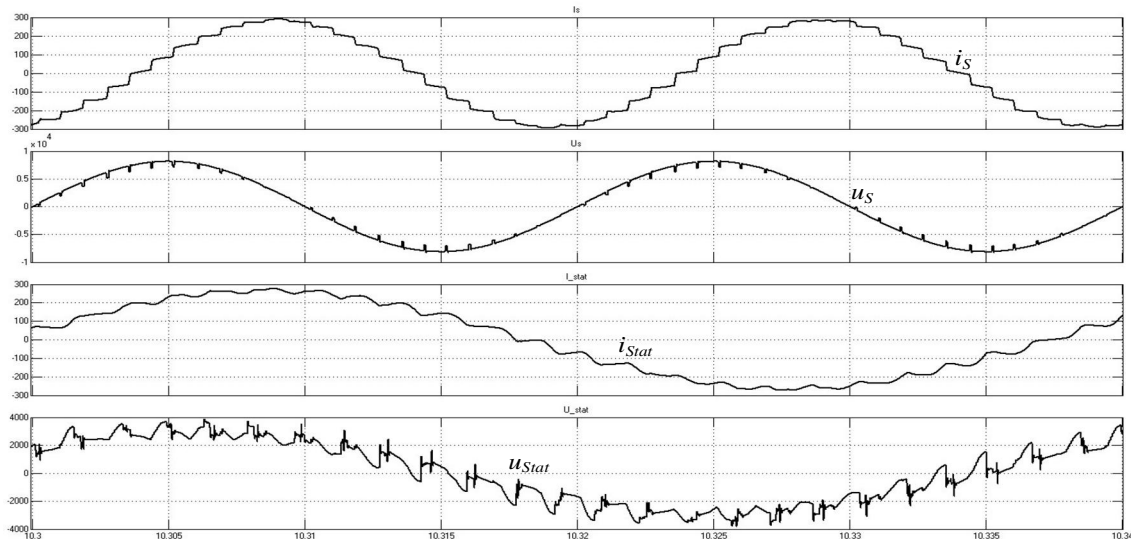


Рис. 5. Машинограммы токов и напряжений питающей сети и обмотки статора при частоте 25Гц

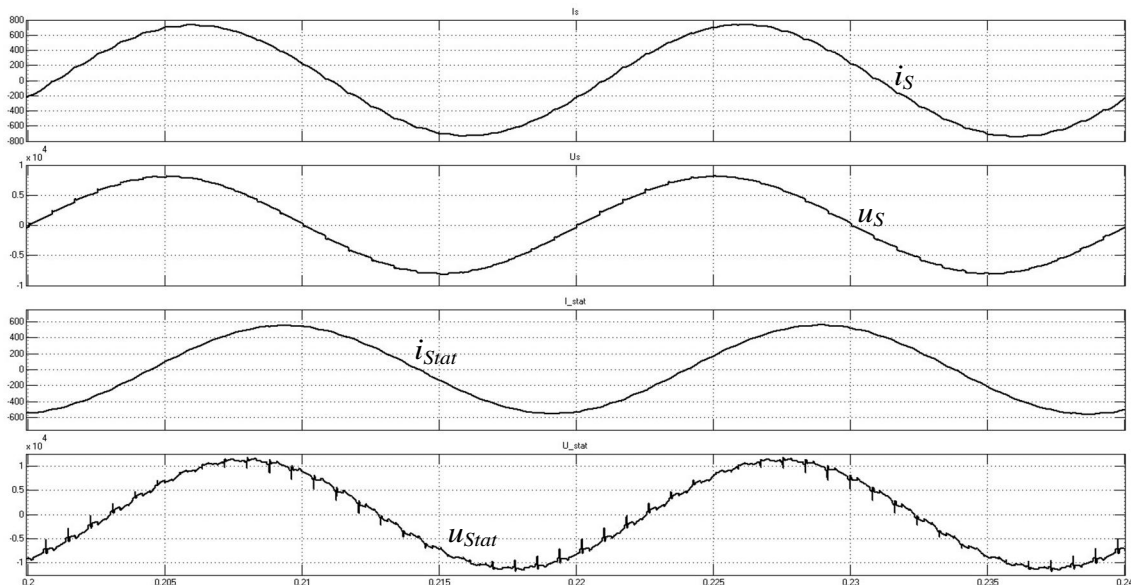


Рис. 6. Машинограммы токов и напряжений питающей сети и обмотки статора при частоте 50Гц

Отметим, что приведенные в таблице параметры были получены после выхода асинхронной машины на установившийся режим работы в соответствии с заданной частотой вращения ротора. При этом величина коэффициента несинусоидальности соответствующего сигнала измерялась стандартным блоком THD, присутствующим в пакете Simulink, а КПД рассчитывалось как отношение усредненных за период повторяемости мгновенных мощностей на зажимах обмоток статора и в точке подключения преобразователя к питающей сети.

Таблица 1

Значения коэффициентов несинусоидальности токов и напряжений на входе и выходе преобразователя и КПД при изменении частоты на выходе инвертора от 15 до 50 Hz

Частота на выходе	Результаты измерений				КПД, %
	$K_{НС}$, %				
f , Hz	I_S	$U_{\phi,S}$	I_{Stat}	$U_{\phi,Stat}$	
50	1.85	1.96	3.48	5.65	96.66
45	5.08	4.07	4.50	5.74	96.39
40	5.29	4.40	4.37	6.28	96.11
35	5.57	4.29	5.37	11.61	95.68
30	5.52	3.99	7.14	18.04	94.68
25	5.61	3.61	8.90	22.07	93.35
20	5.03	3.08	10.50	26.73	90.42
15	4.34	2.42	10.89	33.56	83.47

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время традиционная схема электропривода большой мощности на основе АИТ-ОД и асинхронной машины является вполне конкурентоспособной по сравнению с системой электропривода на основе многоуровневых инверторов по техническим характеристикам.

2. Виртуальные эксперименты на компьютерной модели системы электропривода с преобразователем и АМ позволяет оценить характер электромагнитных процессов и характеристики системы в различных режимах работы.

3. При проектировании вентильного преобразователя необходимо уделять внимание построению компьютерной модели, учитывающей параметры силовой схемы и системы управления, и позволяющей оценить электромагнитные процессы в различных режимах работы.

4. Разработана *Matlab*-модель электропривода переменного тока номинальной мощностью 8 MW, выполненная на основе АИТ-ОД и асинхронного двигателя.

5. В среде *Matlab* реализована методика расчета КПД и коэффициента несинусоидальности токов и напряжений в схеме.

6. Данные, полученные при исследовании *Matlab*-модели электропривода, позволяют судить о ее корректной работе в квазиустановившихся и переходных режимах. Практический же интерес представляют результаты моделирования, полученные для номинального режима работы асинхронного двигателя при частоте 50 Гц. Данные, полученные на *Matlab*-моделях при других частотах, позволяют оценить степень снижения КПД и повышение коэффициентов несинусоидальности при выходе из номинального режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Rodriguez, J.S. Lai and F.Z. Peng. "Multilevel inverters: A survey of topologies, control and applications", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 4, Aug. 2002, pp. 724-738.

- L.G. Franquelo, J. Rodriguez, J.I. Leon S. Kouro, R. Portillo and M. A. M. Prats. "The age of multilevel converters arrives", IEEE Ind. Electron., Mag., vol. 2, Jun. 2008, pp. 28-39.
- Донской Н., Иванов А., Матисон В., Ушаков И. Многоуровневые автономные инверторы для электропривода и электроэнергетики // Силовая электроника. – 2008. – №1. – С. 43-46.
- Шавелкин А.А. Вариант схемы многоуровневого преобразователя частоты для электропривода среднего напряжения // Электротехника. – 2005. – № 11.
- Аранчий Г.В. Жемеров Г.Г. Эпштейн И.И. Тиристорные преобразователи частоты для регулируемых электроприводов. – М.: Энергия, 1968. – 128 с.
- Гончаров Ю.П., Ермуратский В.В., Заика Э.И., Штейнберг А.Ю. Автономные инверторы. – Кишинев: Штиинца, 1974. – 336 с.
- Ключев В.И. Теория электропривода М: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.
- Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2005. – 300 с.
- Бару А.Ю., Педан Е.А., Поповский В.А., Шинднес Ю.Л., Твердохлеб И.Б. Частотно-регулируемый электропривод как универсальное средство управления насосными агрегатами. – Гервикон-2011. – 2011. – С. 1-18.

Bibliography (transliterated): 1. J. Rodriguez, J.S. Lai and F.Z. Peng. "Multilevel inverters: A survey of topologies, control and applications", IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 4, Aug. 2002, pp. 724-738. 2. L.G. Franquelo, J. Rodriguez, J.I. Leon S. Kouro, R. Portillo and M. A. M. Prats. "The age of multilevel converters arrives", IEEE Ind. Electron., Mag., vol. 2, Jun. 2008, pp. 28-39. 3. Donskoj N., Ivanov A., Matison V., Ushakov I. Mnogourovnevye avtonomnye inventory dlya `elektroprivoda i `elektro`energetiki // Silovaya `elektronika. -2008. - №1. - S. 43-46. 4. Shavelkin A.A. Variant shemy mnogourovnevnogo preobrazovatelya chastoty dlya `elektroprivoda srednego napryazheniya // `Elektrotehnika. - 2005. - № 11. 5. Aranchij G.V. Zhemerov G.G. Epshtejn I.I. Tiristornye preobrazovateli chastoty dlya reguliruemyh `elektroprivodov. - M.: `Energiya, 1968. - 128 s. 6. Goncharov Yu.P., Ermuratskij V.V., Zaika `E.I., Shtejnberg A.Yu. Avtonomnye ivnertory. - Kishinev: Shtiinca, 1974. -336 s. 7. Klyuchev V.I. Teoriya `elektroprivoda M: `Energoatomizdat, 2001. - 704 s. 8. Terehov V.M., Osipov O.I. Sistemy upravleniya `elektroprivodov. - M.: Akademiya, 2005. - 300 s. 9. Baru A.Yu., Pedan E.A., Popovskij V.A., Shindnes Yu.L., Tverдохлеб I.B. Chastotno-reguliruemyj `elektroprivod kak universal'noe sredstvo upravleniya nasosnymi agregatami. - Gervikon-2011. - S. 1-18.

Поступила 05.06.2013

Жемеров Георгий Георгиевич, д.т.н., проф.
Крылов Денис Сергеевич, к.т.н., доц.
 Национальный технический университет
 "Харьковский политехнический институт"
 кафедра "Промышленная и биомедицинская электроника"
 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21,
 тел./факс: (057)707-63-12, e-mail: zhemerov@gmail.com

Титаренко Игорь Григорьевич, ст. науч. сотр
Бару Александр Юрьевич, к.т.н., ст. науч. сотр.
Шинднес Юрий Львович, к.т.н., ст. науч. сотр.
 Научно-производственное предприятие "ЭОС"
 61158, Харьков, ул. Академика Павлова, 82
 тел./факс: (057)738-04-39, e-mail: eos@kharkov.org

Zhemerov G.G., Krylov D.S., Titarenko I.G., Baru A.U., Shindnes U.L.

Simulation of a high-powered variable frequency ac drive based on a multipulse current source inverter.

A computer model building technique for an AC drive system with an autonomous 24-pulse current inverter is introduced. On the basis of the technique developed, a MATLAB variable-frequency drive model capable of working in both quasi-stationary and transient modes is built.

Key words – 24-pulse current inverter, AC drives, Matlab-model, efficiency.