

УДК 621.314.632

## МОДЕЛЬ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

**Уланов Р.В., студент; Шумяцкий В.М., доцент, к.т.н.**

*(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)*

Одной из наиболее характерных черт развития современного электропривода является переход от систем регулируемого электропривода на базе двигателей постоянного тока к регулируемому электроприводу переменного тока, среди которых преимущественное распространение имеет: - асинхронный частотно-регулируемый электропривод на базе АД с КЗ ротором и полупроводниковым преобразованием частоты (ПЧ). Полупроводниковые ПЧ для электроприводов подразделяются на два класса, различающихся по способу связи двигателей с питающей сетью: непосредственные преобразователи частоты (НПЧ); двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока.

В статье рассматриваются системы электропривода с использованием НПЧ. В классе НПЧ наибольшее практическое применение получили преобразователи с естественной коммутацией использующие силовые полупроводниковые приборы с неполным управлением (тиристоры), коммутация которых производится за счет напряжения сети.

НПЧ для управления АД представляет собой комплект реверсивных управляемых выпрямительно-инверторных преобразователей, каждый из которых питает одну фазу двигателя. Формирование необходимой частоты и амплитуды обеспечивается непрерывным циклическим изменением угла управления комплектами преобразователей. Теоретическое значение частоты выходного напряжения совпадает с частотой сети, на практике это значение вдвое меньше.

Поэтому одним из факторов, который необходимо учитывать при исследовании систем электропривода переменного тока с ПЧ является тепловое состояние двигателя при регулировании частоты. Первым этапом в этом исследовании является получение достаточно полной модели НПЧ, позволяющей анализировать выходные характеристики. Структурная схема системы НПЧ – АД представлена на рис.1.

Из структурной схемы видно, что система управления вентиляльными комплектами инверторов напряжения (СУ) имеет обратную связь по току статора. При помощи обратной связи отслеживается переход тока через ноль для своевременного переключения тиристорных групп вентиляльных комплектов в инверторах напряжения (ИН). На рис.2 представлена разработанная модель.

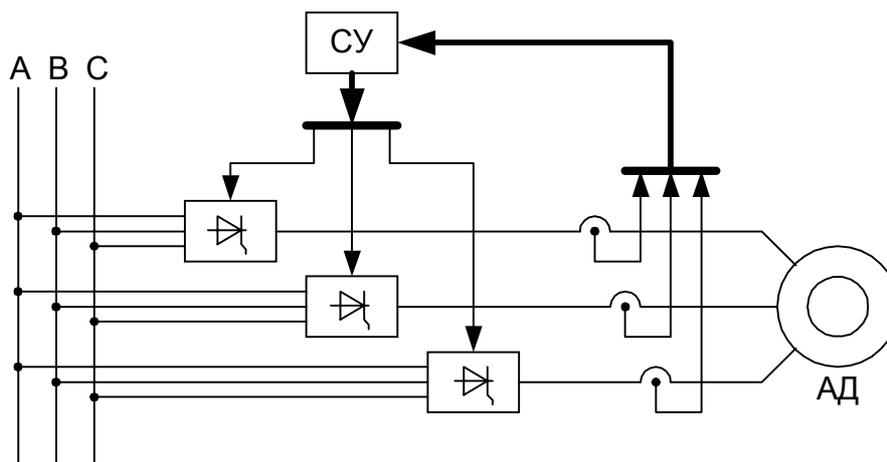


Рисунок 1 – Структурная схема системы НПЧ-АД

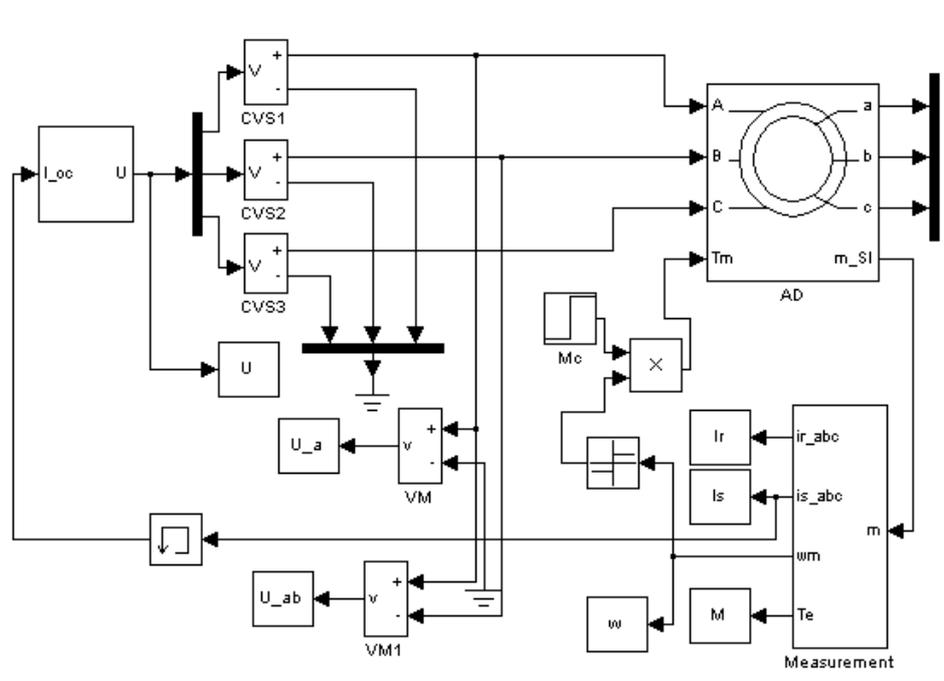


Рисунок 2 – Модель системы НПЧ – АД

Принцип работы НПЧ заключается в преобразовании  $m_1$ -фазного напряжения питающей сети частоты  $\omega_1 = 2\pi f_1$  в  $m_2$ -фазное напряжение выходной частоты  $\omega_2 = 2\pi f_2$ . Непосредственное преобразование частоты заключается в том, что кривая выходного напряжения составляется из отрезков синусоид сетевых напряжений, что с некоторой долей идеализации можно представить уравнением:

$$u_{\text{вых}}(t) = F_1(t) u_1 + F_2(t) u_2 + \dots + F_i(t) u_i + \dots + F_m(t) u_m, \quad (1)$$

где  $u_{\text{вых}}(t)$  – выходное напряжение НПЧ;  $u_1, u_2, \dots, u_m$  – напряжения (фазные или линейные)  $m$ -фазной питающей сети;  $F_i(t)$  – переключающая функция (ПФ);  $F_i = 1$ , когда  $u_{\text{вых}}$  повторяет  $u_i$  и  $F_i = 0$  на остальном интервале.

Разработанная модель СУ генерирует ПФ. Для организации ПФ в полученной системе управления используется принцип вертикального управления. Управляющий сигнал представляет собой задание на амплитуду и частоту напряжения, подаваемого на АД. В качестве опорного сигнала используются фазные напряжения сети (для данной системы имеем три фазы – прямые и обратные напряжения: итого – шесть опорных сигналов). На рис.3 представлены подсистемы, генерирующие соответственно управляющие сигналы и сигналы опорных напряжений.

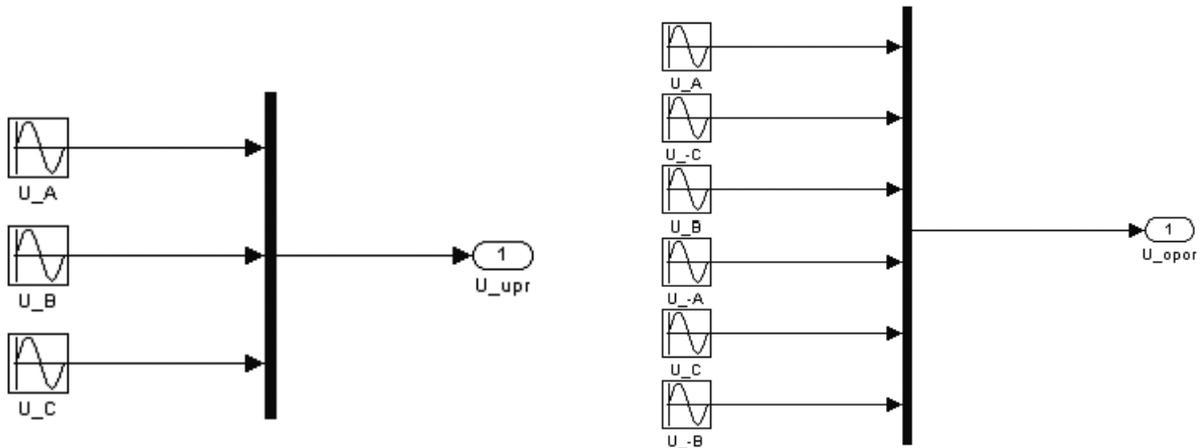


Рисунок 3 – Подсистемы, генерирующие соответственно управляющие сигналы и сигналы опорных напряжений

На рис.4 представлен блок, объединивший СУ и вентиляльные комплекты. Объединение обусловлено уравнением (1) – СУ – формирует ПФ, а вентиляльные комплекты являются ключами, включающими либо выключающими соответствующие составляющие фазных напряжений. Как видно из рисунка, блок имеет три канала – на каждую фазу по каналу. Выходной сигнал каждого канала масштабируется по номинальному напряжению двигателя.

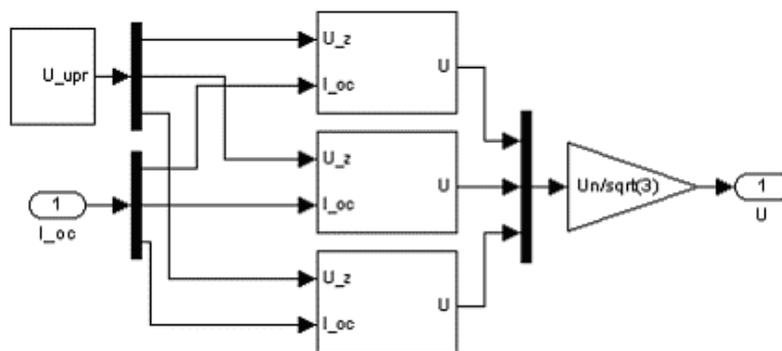


Рисунок 4 – Блок СУ, объединенной с инверторами напряжения

Рассмотрим работу одного из каналов СУ. Содержание подсистемы одного из каналов представлено на рис. 5.

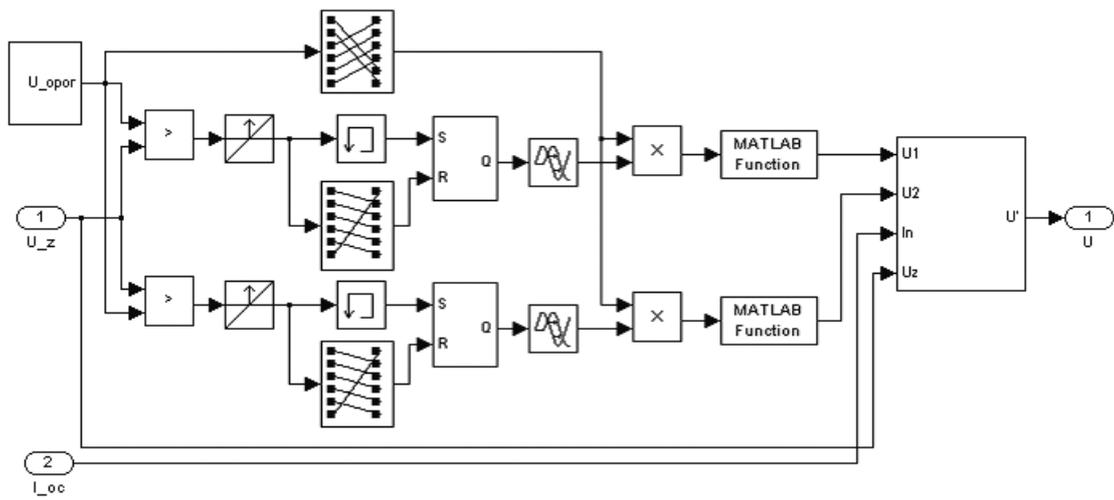


Рисунок 5 – Подсистема одного из каналов СУ

Нуль орган (Relational operator) отслеживает моменты равенства опорного и управляющего сигналов. Знаки сравнения у каналов различны, чем достигается различие режимов работы каналов, т.е. один работает в выпрямительном режиме, а второй – в инверторном. Нуль орган выдает последовательность импульсов (эта последовательность и есть ПФ), которая далее фильтруется блоком Nitcross. Отфильтрованная последовательность импульсов дальше подается на триггер, который отвечает за состояние каждой  $i$ -той составляющей ПФ. Модель триггера представлена на рис.6.

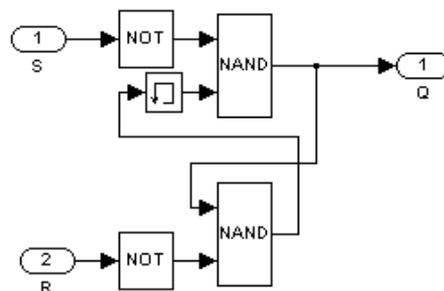


Рисунок 6 – Модель триггера

Блок Memory осуществляет развязку алгебраической петли, обусловленной структурой схемы триггера, а также используется для задания начального состояния триггера. На выходе триггера, на каждом шаге вычисления образуется вектор состояния ПФ. Далее этот вектор, сдвинутый на 15 градусов частоты, питающего напряжения, почленно перемножается с вектором фазных напряжений. На выходе блока перемножения, который функционально реализует работу тиристоров, получается кривая выходного напряжения инвертора, разложенная на составляющие. Сдвиг управляющего вектора обусловлен тем, что в модель не внесен блок, генерирующий сигналы линейных напряжений, которые прикладываются к тиристорам, вместо них используются сигналы фазных напряжений (сдвиг между фазным и линейным напряжением равен 135 градусов).

Данная подсистема является в свою очередь двухканальной. Каждый канал отвечает за работу одного вентильного комплекта (прямого или обратного

направления тока). Для переключения с одной группы вентилей на другую разработана подсистема, представленная на рис.7. В подсистему введена обратная связь по току статора и сигнал управления. Сигнал обратной связи служит для определения момента, когда ток статора приближается к нулю – в этот момент происходит отключение работающей группы тиристоров. Через время, достаточное для закрытия тиристоров, работающей группы, включается в работу другая тиристорная группа.

Управляющий сигнал вводится в подсистему для синхронизации работы тиристорных групп. В подсистеме имеется триггер аналогичный выше рассматриваемому, который является переключателем между группами тиристоров. Выходной сигнал данной подсистемы подается на выход СУ и представляет собой кривую выходного напряжения НПЧ.

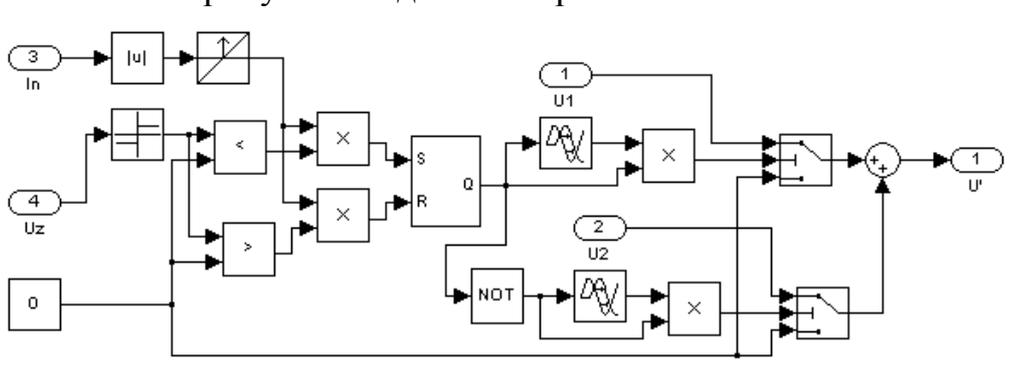


Рисунок 7 – Подсистема , отвечающая за переключение тиристорных групп

Модель системы НПЧ-АД в свою очередь имеет две составляющие: первая выполнена в приложении Simulink, вторая – Power System Blockset. Сигнал кривой НПЧ поступает во вторую часть модели, которая выполнена в приложении Power System Blockset и состоит из управляемых источников напряжения (Controlled Voltage Source – CVS) и виртуального двигателя (AD).

На рисунке 8 представлены кривая выходного напряжения инвертора и закон изменения угла управления по [1].

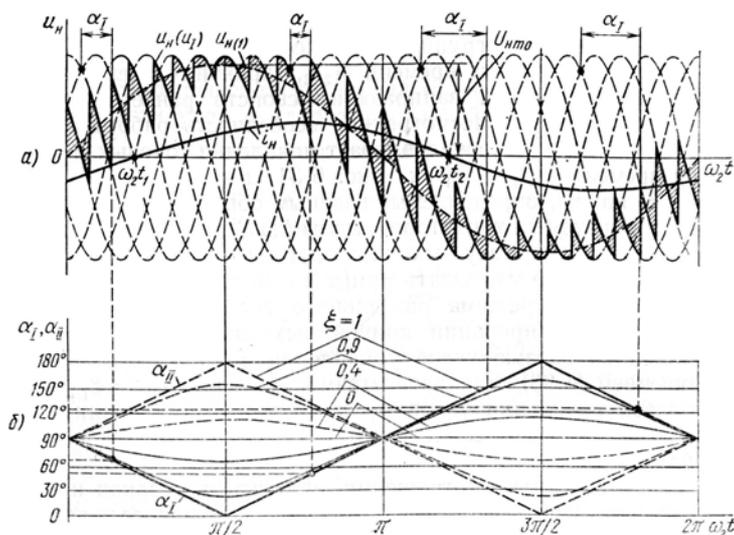


Рисунок 8 – Теоретические кривая выходного напряжения инвертора и закон изменения угла управления

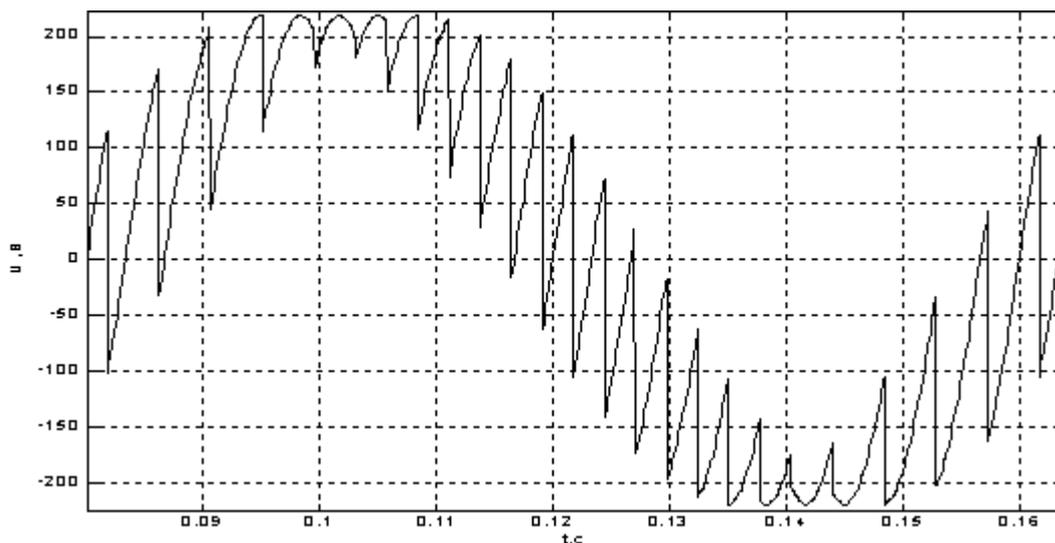


Рисунок 9 – Промоделированная кривая выходного напряжения инвертора

Как видно из рисунков 8 и 9 кривые выходного напряжения инверторов идентичны, из чего следует вывод об достоверности работы модели НПЧ.

На данном этапе модель разомкнутая, что ограничивает использование каких-либо законов управления, которые используют слежение за различными параметрами системы – потокосцепление, момент и другие. Следующим этапом является разработка модели замкнутой системы НПЧ-АД с использованием различных законов управления.