

На правах рукописи

ЛЮ КИМ ТХАНЬ

**ЭЛЕКТРОПРИВОД ТПН-АД С АВТОМАТИЧЕСКИМ СИММЕТРИРОВАНИЕМ
ТОКОВ СТАТОРА ПРИ ПИТАНИИ ОТ СЕТИ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ
НАПРЯЖЕНИЕМ**

Специальность 05.09.03 - электрические комплексы
и системы, включая их управление и регулирование.

АВТОРЕФЕРАТ

*Диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

Одесса - 1995

Ав 32.524

Работа выполнена на кафедре "Электропривод и автоматизация промышленных установок" Одесского государственного политехнического университета.

Научный руководитель :
кандидат технических наук Андрищенко О. А.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук Андриенко П. Д.
кандидат технических наук Ладензон В. А.

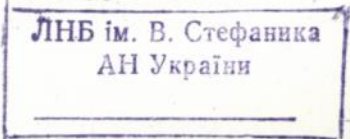
Ведущая организация : Украинский научно-исследовательский институт станков и инструментов (УКРНИИСИП), г. Одесса.

Защита состоится "22" июня 1996 г. в 14,00 ч. в аудитории 115У на заседании специализированного совета Д 05.06.03 по присуждению ученых степеней доктора технических наук Одесского государственного политехнического университета по адресу: 270044 г. Одесса, пр. Шевченко, 1. Кафедра ЭПА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОГПУ.

Автореферат разослан " 15 " мая 1996 г.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направить по указанному адресу.



Ученый секретарь
специализированного совета

Handwritten signature

О. А. Андрищенко

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00779101 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

При работе АД от несимметричной трехфазной сети искажается форма механической характеристики, уменьшается его перегрузочная способность, увеличивается мощность потерь в обмотках статора и ротора, в электромагнитном моменте двигателя появляется вибрационная составляющая частотой 100 Hz. В совокупности эти факторы снижают экономичность работы электропривода и уменьшают его срок службы. Проблема устранения негативных последствий несимметричного питания АД становится особенно актуальной в настоящее время, в период резкого удорожания энергетических и материальных ресурсов.

Цель работы. Целью работы является разработка способов, алгоритмов и функциональных схем автоматического симметрирования фазных токов АДК, на основе исследования влияния степени несимметрии напряжения трехфазной питающей сети на статические и динамические режимы электропривода по системе ТПН-АДК.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи :

- математическое описание видов несимметрии и разработка критериев ее оценки;

- разработка модели ТПН, синхронизированного как с напряжением сети (СН), так и с током нагрузки (СТ); Адаптация известных узлов цифровых моделей АЭП применительно к поставленным целям исследования.

- исследование влияния степени несимметрии напряжений на статические и динамические характеристики электропривода по системе ТПН-АДК.

- разработка функциональных схем и исследование способов автоматического симметрирования фазных токов АДК.

Методы исследования. При разработке критериев оценки степени несимметрии напряжений сети и фазных токов АД были использованы метод симметричных составляющих, разложение Фурье и графо-аналитические методы.

Для создания моделей ТПН и узлов САУ было использовано математическое моделирование.

В алгоритмах расчета величин разомкнутой и замкнутой систем ТПН-АДК были использованы методы численного интегрирования, а метод Рунге-Кутты четвертого порядка - для решения систем дифференциальных уравнений. Все расчеты и графика выполнялись на персональных ЭВМ 386/387 DX 40 Mhz с использованием языка TURBO PASCAL 7.0.

Научная новизна

1. Цифровая модель ЭП по системе ТПН-АДК, синхронизированного с током нагрузки, с учетом тока удержания тиристоров при симметричной и несимметричной трехфазной сети питающего напряжения.

2. Критерии оценки степени несимметрии напряжений сети и фазных токов АДК.

3. способы и функциональные схемы системы автоматического симметрирования фазных токов АЭП с ТПН.

Пункты 1 и 2 научной новизны сформулированы и разработаны лично соискателем. По способам и функциональным схемам конкретно соискателем проведено моделирование и исследование процессов симметрирования.

Теоретическая и практическая ценность результатов работы

Теоретической ценностью результатов работы является разработка систем автоматического симметрирования фазных токов (по полным и неполным фазным токам АД) и их алгоритмы расчета на цифровой модели. На основе результатов теоретического исследования можно построить системы автоматического симметрирования фазных тогов, благодаря им уменьшается мощность потерь в обмотках двигателя и продлевается срок службы АД.

Диссертация является законченной научной работой.

Публикации . По теме диссертации опубликовано три печатных работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 76 наименований, 4 приложений. Работа содержит 163 страницы, в том числе 101 страниц основного машинописного текста, 31 страницу рисунков и 6 страниц таблиц.

Выносимые на защиту основные положения

1. Цифровая модель ЭП по системе ТПН-АДК, синхронизированного с током нагрузки.

2. Результаты исследований статических и динамических режимов ТПН-АДК при питании от трехфазной сети с несимметричным напряжением.

3. Способы, алгоритмы и функциональные схемы системы автоматического симметрирования фазных токов АЭП с ТПН.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определена актуальность темы, изложены цель и задачи работы, даны методы исследования.

В первой главе дается краткая характеристика электропривода по системе ТПН-АДК при различных способах синхронизации вентиляей. Описаны два способа синхронизации: синхронизация с напряжением сети (система с СН, или система управления по α) и синхронизация с током нагрузки (система с СТ, или система управления по γ). Электропривод ТПН-АДК рассматривается как многофункциональ-ий ЭП широкого применения. Одной из его функций является симметрирование фазных токов АД при несимметричной трехфазной сети.

Во второй главе описана цифровая модель АДК и ТПН при управлении по α и по γ , а также блок трехфазного источника. Известная цифровая трехфазная модель в диссертационной работе для удобства программной реализации была преобразована к конкретному виду в форме пяти систем дифференциальных уравнений (ДУ) в относительных единицах. При моделировании АДК, работающего с ТПН, считаем тиристоры как идеальные ключи. Даны пять систем ДУ соответственно следующим конкретным состояниям этих ключей:

1. при трехфазной проводимости система состоит из шести ДУ линейных потокосцеплений статора и ротора, а также основного уравнения динамики привода;

2. при двухфазной проводимости в системе ДУ существует три линейных потокосцепления ротора, основное уравнение динамики привода и дифференциальное уравнение статорного линейного пото-

косоцепления, индекс которого определяется по следующим условиям:

а) при отключении ключа фазы А индекс линейного потоко-
сцепления статора представляет собой " ВС ";

б) при отключении ключа фазы В индекс - " СА ";

в) при отключении ключа фазы С индекс - " АВ ";

Таким образом, при двухфазной проводимости были использованы три системы ДУ.

3. при отключенных от сети всех трех фазах статора система содержит основное уравнение динамики привода и три ДУ роторных потокоцеплений.

На каждом шаге численного интегрирования величин системы ТПН-АДК необходимо производить выбор одной из пяти систем ДУ модели ТПН-АДК и ее решение. Этот выбор зависит от состояний вентилях. Поэтому, при моделировании ТПН, как элемента системы управления, на каждом шаге расчета необходимо определить состояние всех тиристоров. Для контроля за состоянием тиристоров введены коммутационные функции ϕ_{ξ} , с помощью которых фиксируются моменты включения и отключения тиристоров. Функция принимает значение нуля при отключении от сети фазы с индексом ξ ($\xi = A, B, C$), значение +1 - при открытом тиристоре анодной группы, значение -1 - при открытом тиристоре катодной группы. На основе анализа типовых диапазонов фазных токов АЭП с ТПН, работающем не только в дограницном режиме, но и в режиме прямого пуска (т.е. при $0 < \alpha < \varphi$) можно определить $\phi_{\xi n}$ по выражению:

$$\phi_{\xi n} = \begin{cases} 0 & \text{при } (\sigma_{\xi n} < \alpha) \ \& \ (i_{\xi n-1} = 0); \\ 1 \operatorname{Sign}(u_{\xi n}) & \text{при } (\sigma_{\xi n} \geq \alpha) \ \& \ (i_{\xi n-1} = 0); \\ 1 \operatorname{Sign}(i_{\xi n-1}) & \text{при } (i_{\xi n-1} \neq 0); \end{cases} \quad (1)$$

где $u_{\xi n} = U_{\xi m} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_{\xi})$ - фазные напряжения питающей сети соответственно на текущем шаге с номером n;

φ_{ξ} - углы сдвига фазных напряжений;

$i_{\xi n-1}$ - ток фазы статора с индексом ξ , соответственно на предыдущем шаге численного расчета с номером n-1;

$\sigma_{\xi n} = \text{mod}[(\omega_0 \cdot t + \varphi_{\xi}) / \pi]$ - угол, отсчитываемый от начала полупериода напряжения u_{ξ}

Здесь следует отметить, что логическое выражение позволяет предварительно определить значения коммутационных функций тиристоров для первого раза расчета на текущем шаге с номером n , а для следующих расчетов на том же шаге коммутационные функции определяются по следующим логическим уравнениям

$$\phi_{\xi n} = \begin{cases} 0 & \text{при } i_{\xi n} = 0 \text{ или } |i_{\xi n}| < i_{yA}; \\ 1 & \text{при } i_{\xi n} > 0 \\ -1 & \text{при } i_{\xi n} < 0 \end{cases} \quad (2)$$

где i_{yA} - ток удержания тиристоров. Введение условия $|i_{\xi n}| < i_{yA}$ приближает модель к реальным условиям работы ТПН и несколько уменьшает время расчета.

Фиксированные коммутационные функции на текущем шаге определяются по следующим логическим уравнениям

$$\phi_{\xi n}(\text{Pic}) = \begin{cases} 0 & \text{при } \phi_{\xi n} \cdot \phi'_{\xi n} \leq 0 \\ \phi_{\xi n} & \text{при } \phi_{\xi n} \cdot \phi'_{\xi n} > 0 \end{cases} \quad (3)$$

В системе ТПН-АДК, синхронизированной с током нагрузки, всегда существует соотношение в каждой фазе

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{\xi} &= \gamma_{\xi} + \delta_{\xi+} & \text{при } U_{\xi n} > 0 \\ \alpha_{\xi} &= \gamma_{\xi} + \delta_{\xi-} & \text{при } U_{\xi n} < 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\delta_{\xi+}$ и $\delta_{\xi-}$ - углы дополнительной проводимости, соответственно положительному и отрицательному полупериоду фазного напряжения. В этом случае для определения коммутационных функций необходимо определить значения $\delta_{\xi+}$ и $\delta_{\xi-}$ по логическому уравнению

$$\left. \begin{aligned} \delta_{\xi+} &= \sigma_{\xi} & \text{при } \left[\begin{array}{ll} (i_{\xi n} \cdot i_{\xi(n-1)} < 0) & \& (i_{\xi(n-1)} < i_{\xi n}); \\ (i_{\xi n} \cdot i_{\xi(n-1)} = 0) & \& (i_{\xi(n-1)} < 0); \end{array} \right. \\ \delta_{\xi-} &= \sigma_{\xi} & \text{при } \left[\begin{array}{ll} (i_{\xi n} \cdot i_{\xi(n-1)} < 0) & \& (i_{\xi(n-1)} > i_{\xi n}); \\ (i_{\xi n} \cdot i_{\xi(n-1)} = 0) & \& (i_{\xi(n-1)} > 0). \end{array} \right. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

После определения $\delta_{\xi+}$ и $\delta_{\xi-}$ в следующих шагах рассчитываются соответствующие им углы включения тиристоров (α_{ξ}) всех фаз

по выражению (4), затем на каждом шаге расчета предварительно определяются коммутационные функции $\phi_{\xi n}$ по (1), а значения коммутационных функций $\phi'_{\xi n}$ и $\phi_{\xi n}(fic)$ могут определиться на каждом шаге расчета соответственно по выражениям (2) и (3). Зафиксированные коммутационные функции в необходимых случаях позволяют перерасчитывать начальные условия выбора системы ДУ для ее решения.

При несимметрии напряжений трехфазной сети система фазных и линейных напряжений может быть выражена в виде

$$\left. \begin{aligned} u_a^* &= U_{am}^* \cdot \sin(T + \varphi_0); & u_{ab}^* &= U_{abm}^* \cdot \sin(T + \varphi_0 + \varphi_{00}); \\ u_b^* &= U_{bm}^* \cdot \sin(T + \varphi_0 - \varphi_{f1}); & u_{bc}^* &= U_{bcm}^* \cdot \sin(T + \varphi_0 + \varphi_{00} - \varphi_{11}); \\ u_c^* &= U_{cm}^* \cdot \sin(T + \varphi_0 + \varphi_{f3}); & u_{ca}^* &= U_{cam}^* \cdot \sin(T + \varphi_0 + \varphi_{00} + \varphi_{13}); \end{aligned} \right\} (6)$$

где $T = \omega t$ - время в относительных единицах;

$U_{\xi m}^* = U_{\xi m} / U_{\delta}$ и $U_{l m}^* = U_{l m} / U_{\delta}$ - максимальные значения фазных и линейных напряжений в о.е.; l - индекс. ($l = AB, BC, CA$);

$U_{\delta} = \sqrt{2} \cdot U_N$ - базовое напряжение;

φ_0 - начальный фазовый угол напряжения фазы А, обычно принимается равным нулю при моделировании ТПН-АДК;

φ_{f1} - фазовый угол сдвига между векторами (\vec{U}_B и \vec{U}_A);

φ_{f3} - фазовый угол сдвига между векторами (\vec{U}_C и \vec{U}_A);

$\varphi_{00}, \varphi_{11}, \varphi_{13}$ - фазовые углы сдвига соответственно между векторами (\vec{U}_A и \vec{U}_{AB}), (\vec{U}_{BC} и \vec{U}_{AB}) и (\vec{U}_{CA} и \vec{U}_{AB}).

Для расчета значений фазовых углов сдвига и амплитуд фазных напряжений должны быть заданы максимальные или действующие значения линейных напряжений.

В алгоритмах расчета дан параметр (SF_n) - сумма абсолютных значений коммутационных функций. С помощью его значения выбирается система ДУ на каждом шаге расчета с номером n . Такой выбор происходит по принципу прогноза-коррекции.

В этой главе представлены алгоритмы расчета величин разомкнутой системы ТПН-АДК как с СН, так и с СТ. На основе этих ал-

горитмов можно создать сложные программы для исследования статических и динамических режимов асинхронного ЭП по схеме ТПН-АДК.

В третьей главе рассмотрены зависимости выходного напряжения и первой гармоники напряжения от углов управления α и γ при различных углах нагрузки (φ). Кроме этого, показаны кривые зависимости первой гармоники угла сдвига фазы (φ_1) от φ при различных углах управления α и γ . Из этих зависимостей определены диапазоны изменения коэффициентов передачи ТПН с СН и с СТ, которые были использованы для расчета параметров регуляторов.

Известно, что во многих трудах было написано о влиянии изменения угла включения вентилей на механические характеристики системы ТПН-АДК. В этой главе рассмотрен этот вопрос на основе трехфазной модели системы ТПН-АДК с СН, а также с СТ. Статические механические характеристики АЭП при различных значениях углов α или γ и симметричном напряжении были построены с использованием трехфазной модели при моделировании процесса пуска с достаточно большим моментом инерции ($J = 8+15$ Дж). Для получения таких характеристик переходные характеристики угловой скорости ротора $\omega(t)$ и вращающего электромагнитного момента $M(t)$ необходимо разделить два процесса: электромагнитный и электромеханический.

Полученные результаты подтвердили, что для системы ТПН-АДК с СН существует зона нечувствительности при изменении угла включения тиристорov в диапазоне $[0 < \alpha < \varphi_{дв, \min}]$. В этом диапазоне механическая характеристика не изменяется и является естественной характеристикой АД. Такая зона нечувствительности не существует в системе ТПН-АД с СТ. Именно это вызывает значительное влияние на динамику процесса симметрирования фазных токов АДК. Причем, в некоторых случаях у системы с СН были колебания угловой скорости с амплитудой порядка 10% от установившейся угловой скорости.

Для системы с СТ колебания угловой скорости не наблюдались.

В результате исследования установлено, что при условии равенства критических моментов переходный процесс сброса 50% и наброса 50% номинальной нагрузки в разомкнутой системе при синхронизации с током нагрузки обычно происходил быстрее чем при синхронизации с напряжением сети. Устойчивость вращающегося ротора АДК после наброса нагрузки для системы с СТ возможна, а для системы с СН скорость ротора колеблется (во многих случаях при $\alpha > \varphi_{ДВ}$ без затухания). Причем, при сбросе нагрузки от установившегося режима максимальный пик вращающего электромагнитного момента для системы, синхронизированной с током статора, не зависит от момента времени сброса нагрузки. Для системы, синхронизированной с напряжением сети, в которой существуют колебания момента, он зависит от момента времени сброса нагрузки. Если сброс нагрузки при $\alpha = 75$ эл. град. происходит в момент времени, когда вращающий момент АД достигает максимального значения, то максимальный пик момента АД повышается от нуля до -110% от установившегося момента АД. В том случае, если сброс нагрузки происходит, когда вращающий момент АД достигает минимального значения, то максимальный пик момента АД повышается только до -40% от установившегося момента. При сбросе нагрузки в системе с СТ и $\gamma = 37$ эл. град. такой пик всегда повышается до -50% от установившегося момента АД.

Из сделанных выводов очевидно, что способ синхронизации тиристоров с током статора АД обладает преимуществом по сравнению со способом синхронизации с напряжением.

В четвертой главе изложены результаты исследования влияния степени несимметрии напряжений сети на статические и динамические характеристики электропривода по системе ТПН-АДК, синхронизированного как с напряжением сети, так и с током статора двигателя.

Степень несимметрии напряжений сети и токов АДК оценивают выраженным в процентах отношением составляющих обратной последовательности и прямой последовательности :

$$K_U = U_2 / U_1 ; \quad K_I = I_2 / I_1 \quad (7)$$

Эти величины называются коэффициентами несимметрии. В общем случае одному значению K_U может соответствовать множество сочетаний значений фазных и линейных напряжений.

Чтобы исключить подобную неопределенность, в диссертационной работе был использован вариант несимметрии линейных напряжений сети, при котором всегда одно из линейных напряжений (например, U_{BC}) имеет номинальную величину, а два других одинаковы между собой и не равны номинальному. Такой вариант был выбран еще и потому, что при одинаковом значении коэффициента несимметрии напряжений составляющая прямой последовательности по такому варианту всегда меньше составляющей прямой последовательности по другим вариантам, где одно из линейных напряжений тоже равно номинальному, а два других неодинаковы. Для определения значений коэффициентов несимметрии необходимо использовать метод симметричных составляющих или графический метод.

На основе этих методов в работе был построен аналитический метод, с помощью выражений которого можно определить величины, используемых в формулах (6) мгновенных значений фазных и линейных напряжений на текущем шаге с номером n , а также составляющие прямой и обратной последовательностей напряжений и его коэффициент несимметрии. Кроме этого, благодаря методу разложения Фурье в диссертационной работе введен критерий оценки степени несимметрии токов по их первой гармонике (т. е. расчет несимметрии токов с учетом их несинусоидальной формы).

В результате исследования установлено, что коэффициент несимметрии токов статора АДК зависит от степени несимметрии напряжений, угла включения тиристоров и, особенно, от скольжения ротора двигателя. Коэффициент несимметрии токов повышается с уменьшением скольжения S . Коэффициент несимметрии токов равен коэффициенту несимметрии напряжений сети только тогда, когда $S = 1$.

Показано, что значения пускового и критического моментов АДК при несимметричном напряжении останутся всегда больше их значений при симметричном напряжении, если симметрия линейных

напряжений достигнута за счет их приравнения наименьшему значению из трех линейных напряжений несимметричной сети.

Отмечено, что в установившемся режиме при различных значениях коэффициента несимметрии напряжений, момента сопротивления и углов управления тиристорov, форма и действующие значения частей фазных токов, соответствующих положительному и отрицательному полупериодам, всегда одинаковы. Следовательно, это позволяет уменьшать в два раза число каналов измерения и регулирования тока (от шести до трех каналов). Это является основой построения замкнутой системы автоматизированного управления, предназначенной для симметрирования фазных токов АДП.

В результате исследования установлено, что чем больше степень несимметрии напряжения, тем больше амплитуды вибрации вращающего момента и угловой скорости, а также больше время разгона АДК.

Подтверждено, что скорость ротора АДК в системе с СТ всегда была более устойчива по сравнению с системой с СН при одинаковой степени несимметрии напряжения сети.

В пятой главе представлены способы симметрирования фазных токов АДК, алгоритмы расчета и функциональные схемы по этим способам.

Для уменьшения степени несимметрии фазных токов АДК необходимо использовать замкнутые системы автоматизированного управления (САУ), обратная связь которых может быть одним из сочетаний следующих параметров:

1. выходных фазных напряжений ТПН, подводимых к обмоткам АДК;
2. полных фазных токов статора АДК;
3. неполных фазных токов статора АДК, измеренных в интервалах между моментами времени формирования импульсов управления тиристорами.

Отмечено, что между первым и вторым способами существует соотношение по ε кону Ома. Следовательно, первый и второй способы симметрирования фазных токов по сущности управления аналогичны. В работе была проведена разработка и исследование САУ симметрированием фазных токов по второму и третьему способам.

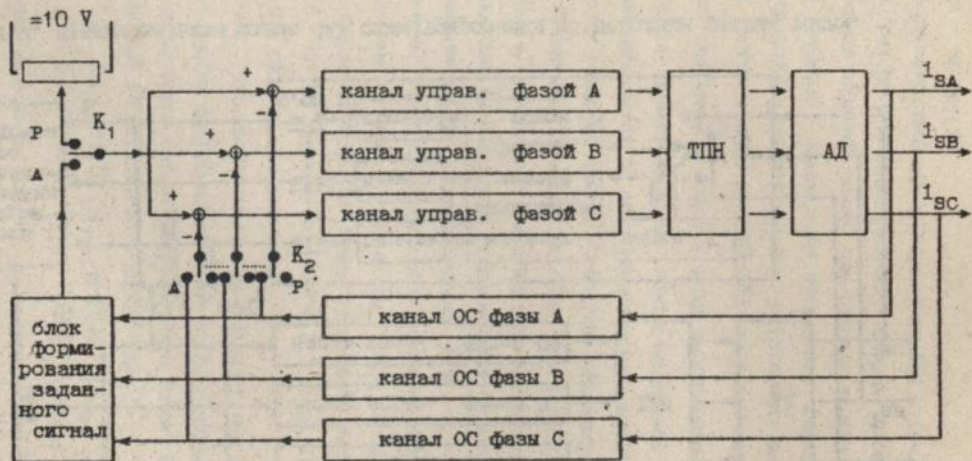


Рис 1. Функциональная схема САУ симметрирования по полным фазным токам.

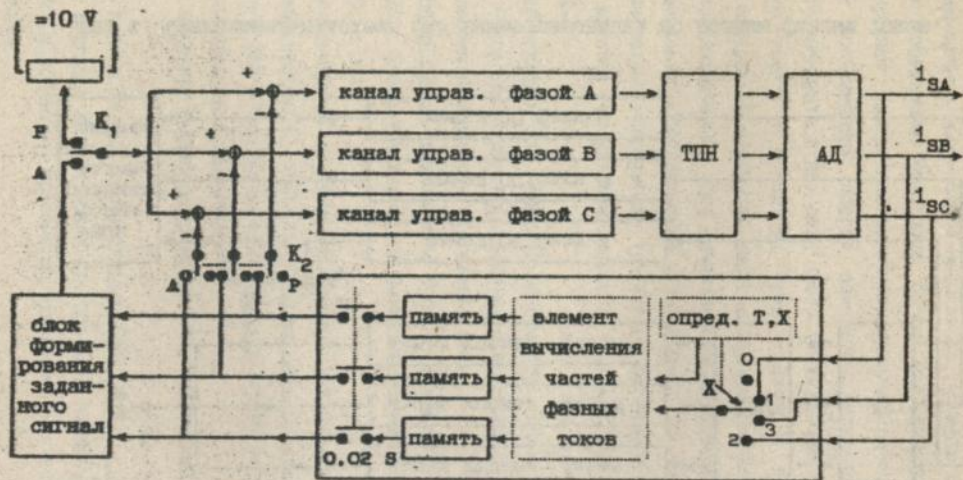


Рис 2. Функциональная схема САУ симметрирования по неполным фазным токам.

Функциональная схема САУ симметрированием фазных токов по полным фазным токам АДК показана на рис. 1, а по неполным фазным токам АДК - на рис. 2

САУ симметрированием фазных токов АДК отличается от других наличием трех регулируемых величин - фазных токов АДК, а также трех сигналов обратной связи при одном задающем воздействии. В качестве задающего воздействия применялся сигнал, пропорциональный среднему арифметическому действующих значений фазных токов АД. При отработке задания ТПН по фазам создавал неодинаковые углы включения α или γ с целью выравнивания фазных токов. Эффективность симметрирования контролировалась параллельно работающей программой по определению коэффициента несимметрии токов первых гармоник прямой и обратной последовательности.

Для обеспечения процесса разгона двигателя и получения симметричного (или близкого к симметричному) режима работы АДК симметрирование фазных токов рекомендуется начинать на рабочем участке механической характеристики АДК.

Отмечено, что в процессе симметрирования фазных токов АДК с уменьшением степени несимметрии токов потери в двигателе значительно уменьшаются. Например, при работе вхолостую и $K_u = 0,1 \dots 0,15$ потери уменьшаются почти в 3 раза, а при $M_c = 0,5$ примерно в 2 раза.

Отмечено, что действенность симметрирования фазных токов зависит от многих факторов, одним из которых является выбор параметров регуляторов САУ симметрированием токов. При исследовании применялись ПИ-регуляторы с параметрами:

$$K_{PT\alpha} = 0,76; \quad T_{PT\alpha} = 0,032; \quad K_{СИФV.\alpha} = 0,43;$$

$$K_{PT\gamma} = 0,38; \quad T_{PT\gamma} = 0,069; \quad K_{СИФV.\gamma} = 0,917;$$

С такими параметрами в работе рассмотрено влияние погрешности измерения одного из трех датчиков тока на изменение коэффициента несимметрии токов в процессе симметрирования. При этом полученные результаты показали, что симметрирование токов в САУ ТПН-АД мало зависит от качества измерителя, например для системы с СН, если погрешность измерения датчика фазы В была равна $\pm 15\%$, то отклонение K_1 было не больше чем 2,5% от его значения

при отсутствии погрешности измерения.

Полученные результаты сравнения управления между двумя способами симметрирования фазных токов показали, что способ симметрирования по полным фазным токам точнее по сравнению со способом симметрирования по неполным фазным токам. Например, при $K_u = 0,05; 0,1; 0,15$ коэффициент несимметрии токов K_i на рабочем участке механической характеристики в замкнутой системе по сравнению с разомкнутой системой уменьшается соответственно с 0,3 до 0,0056; с 0,6 до 0,14; с 0,9 до 0,33.

В динамике САУ симметрированием фазных токов по полным фазным токам с синхронизацией тиристорov с током статора двигателя предпочтительнее, чем САУ с ТПН, синхронизированным с напряжением сети.

В заключении приводятся основные результаты диссертационной работы, которые сводятся к следующему:

1. Получена цифровая модель системы ТПН-АД с синхронизацией с током нагрузки на основе цифровой модели системы ТПН-АД с синхронизацией с напряжением сети. Применение условия " считать $i_{\xi n} = 0$, если $|i_{\xi n}| < i_{y, t}$, где $i_{y, t}$ - ток удержания тиристорov" приближает условия моделирования к реальной работе вентиля и несколько сокращает время расчетов.

2. Применение ТПН приводит к искажению формы напряжения и тока обмоток статора. В работе в качестве критериев оценки степени несимметрии напряжения применяется коэффициент несимметрии, определенный по несимметричным синусоидальным линейным напряжениям сети. Степень несимметрии токов определяется по предварительно выделенным первым гармоникам фазных токов.

3. В системе с изолированной нейтралью установлена симметричность полуволн тока в каждой фазе при несимметричном питании и тиристорном фазовом управлении. Как следствие, в структурных схемах САУ симметрирования фазных токов АД необходимо использовать только три канала управления.

4. Исследованы два способа устранения (уменьшения) несимметрии токов: по полному току фазы и по неполному току фазы. Установлено преимущество первого способа.

5. Алгоритм функционирования САУ симметрированием при использовании полного тока статора включает следующие операции :

- в течение одного периода питающего напряжения сети производится измерение действующих значений трех фазных токов;
- формируется задающее воздействие как среднearифметическое от трех измеренных токов;
- общее задающее воздействие обрабатывается тремя автономно работающими по фазам регуляторами и СИФУ.

6. Установлена и показана на модели высокая эффективность автоматического симметрирования фазных токов и уменьшения потерь в двигателе.

7. Показано, что в динамике (наброс и сброс нагрузки, время окончания симметрирования) более эффективно применение СИФУ, синхронизированных с током нагрузки по сравнению с синхронизацией с напряжением сети.

8. Установлен эффект компенсации погрешности измерения датчика тока в системе симметрирования фазных токов.

9. Установлено, что эффективность симметрирования фазных токов АДК при высокой степени несимметрии напряжений сети ($K_{\alpha} \geq 0,15$) выше в случае $M_c > 0$, и ухудшается, если $M_c = 0$.

По теме диссертации опубликованы следующие работы :

1. Андриященко О.А., Лю Ким Тхань. Выходное напряжение ТПН в системе ТПН-АД при различных способах синхронизации вентилей. Проблемы внедрения и технической эксплуатации тиристорных устройств в судовых и береговых установках. Тезисы докладов международной научной конференции. Одесса, 1993.

2. Андриященко О. А., Лю Ким Тхань, Ширкина И. В. Выходное напряжение тиристорного преобразователя напряжения при работе на активно-индуктивную нагрузку. 1-ая международная конференция по электромеханике и электротехнологии. Суздаль, 1994.

3. Андриященко О. А., Лю Ким Тхань. Исследование выходного напряжения ТПН при различных способах синхронизации тиристорov. Электромашиностроение и электрооборудование. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Выпуск 47, стр. 40-46. Киев "Техніка" 1995

АННОТАЦИЯ

Лю Ким Тхань. Электропривод ТПН-АД с автоматическим симметрированием токов статора при питании от сети с несимметричным напряжением.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 - электрические комплексы и системы, включая их управление и регулирование. Одесский государственный политехнический университет. Одесса, 1995.

Защищается научная работа, которая содержит теоретическое исследование автоматического симметрирования фазных токов АД. Симметрирование токов осуществляется в трехканальной САУ с единым задающим сигналом, равным среднему арифметическому измеренных действующих фазных токов. Установлено, что система ТПН-АДК с синхронизацией с током нагрузки имеет больше преимуществ по сравнению с системой с синхронизацией с напряжением в процессах разгона, сброса нагрузки и симметрирования фазных токов.

ANNOTATION

Luu Kim Thanh. Electric drive (ED) TTV-AM (thyristor transducer of voltage - asynchronous motor) with automatic symmetry of stator's currents under the charge from net of unsymmetrical voltage.

The dissertation thesis is submitted for a candidate degree of technical sciences in the specialization 05.09.03 - electric complexes and systems including their direction and regulation. Odessa State Politechnical University, Odessa 1995.

There is defended scientific work containing theoretical research on the automatic symmetry of phasal currents of asynchronous motor. It is established, that the system TTV-AM with synchronization of loading current has more advantage then of voltage in the processes of acceleration, dropping loading and the symmetry of phasal circuits.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

КЛЮЧОВІ СЛОВА асинхроний двигун, тиристорне управління,
моделювання, несиметрія, автоматичне усунення несиметрії.

Подписано к печати 11.05.95. Формат 60x84/16. Бумага газетная.

Печать офсетная. 1,05 усл. печ. л. 1,13 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. Заказ № 118

Одесский государственный политехнический университет.

270044, Одесса, пр. Шевченко, 1.

448537

AB 32.524