

Алексеев Кирилл Анатольевич

магистрант

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный

аэрокосмический университет

им. академика М.Ф. Решетнева»

г. Красноярск, Красноярский край

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ СУ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ СТАНКА С ЧПУ

***Аннотация:** данная статья описывает способ перехода от блоков функциональной схемы к типовым звеньям структурной схемы системы управления электроприводом станка с ЧПУ в целях дальнейшего исследования СУ методами ТАУ.*

***Ключевые слова:** электропривод, станок с ЧПУ, контур скорости, контур перемещения, передаточная функция двигателя, тиристорный преобразователь, динамическая модель электропривода.*

Функциональная схема системы управления электроприводом станка с устройством ЧПУ изображена на рисунке 1. Система управления замкнутого типа, двухконтурная, с внутренним контуром скорости, являющимся подчиненным для внешнего контура перемещения [2].

Контур скорости (КС) состоит из прямого канала: тиристорный преобразователь и двигатель постоянного тока (ДПТ), а так же петли отрицательной обратной связи: тахогенератора постоянного тока (ТГП).

Контур перемещения (КП) состоит из прямого канала: УЧПУ, контур скорости, редуктор, шарико-винтовая передача (ШВП), рабочий орган, а также петли общей обратной связи: датчик обратной связи (ДОС).

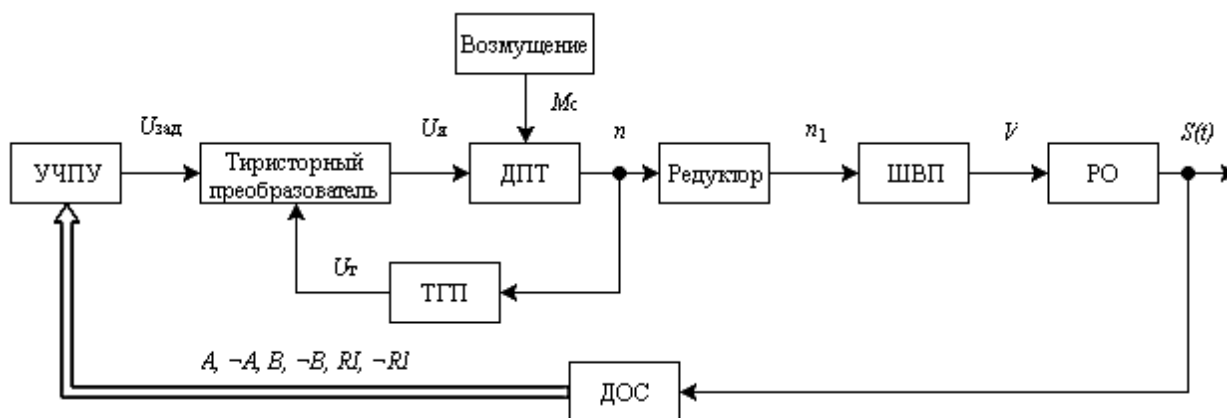


Рис. 1. Функциональная схема СУ перемещением рабочего органа

Данная электромеханическая система управления состоит из устройств, которые можно классифицировать на три типа с точки зрения теории автоматического управления:

- 1) непрерывные устройства;
- 2) цифровые устройства;
- 3) импульсно-фазовые устройства.

Для анализа СУ и построение классических структурных схем необходимо свести данные устройства к единому классу непрерывных устройств, приняв ряд допущений.

ДОС является цифровым, оптоэлектронным устройством [4, с. 6]. Условимся считать, что датчик обратной связи представляет собой позиционное звено с единичной передаточной функцией $W(s) = 1$, передающее входное воздействие $S(t)$ в УЧПУ без внесения фазовых и амплитудных изменений.

УЧПУ является цифровым устройством. Рассмотрим интересующую нас функцию задания напряжения $U_{\text{ЗД}}$ для тиристорного преобразователя по значению желаемой скорости подачи V . Также реализуем математическую операцию сравнения: при попадании $S(t)$ в окрестность заданной координаты ($S(t) = S_{\text{ЗД}} \pm \epsilon$), называемую рассогласованием, УЧПУ останавливает ДПТ ($U_{\text{ЗД}} = 0$), данную операцию будет выполнять регулятор положения (РП). Представим передаточную функцию УЧПУ в виде задающего устройства, устройства сравнения (сумматора) и регулятора положения Структурная схема УЧПУ и ДОС изображена на рисунке 2.

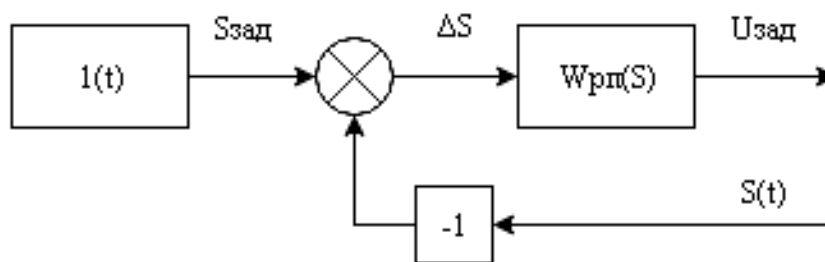


Рис. 2. Структурная схема УЧПУ

Тиристорный преобразователь является импульсно-фазовым устройством, так как тиристоры отпираются импульсами, поступающими от СИФУ, в строго определенные моменты времени (фазы питающего синусоидального напряжения), от значения которых зависит выходное напряжение тиристорного преобразователя $U_{\text{я}}$ [1, с. 62]. Синус угла отпирания тиристоров $\sin(\alpha)$ регулируется СИФУ по прямо пропорциональному закону в зависимости от входного задающего напряжения $U_{\text{ЗАД}}$. Поэтому передаточную функцию ТПН можно представить в виде позиционного звена, коэффициент пропорциональности между входным воздействием $U_{\text{ЗАД}}$ и выходной реакцией $U_{\text{я}}$ является коэффициент усиления по напряжению $k_{\text{у}}$ [2].

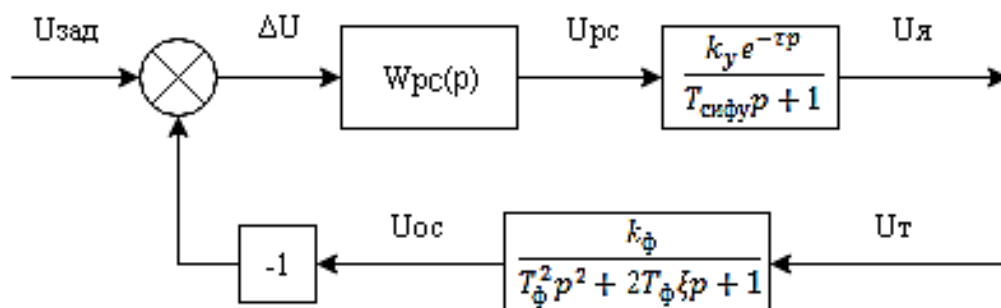


Рис. 3. Структурная схема ТПН

Так как тиристор представляет собой не полностью управляемый прибор, и, если он находится в работе (открыт), то воздействовать на него невозможно до прекращения тока. Управляющее воздействие СИФУ может быть оказано только на следующий тиристор, который должен вступить в действие по истечении времени, равного длительности функционирования одного прибора [2]. Таким образом, неизбежно запаздывание τ . Учитывая это, в динамическую модель ТПН добавляют звено чистого запаздывания с постоянной времени τ . Система импульсно-фазового управления СИФУ имеет некоторую инерционность, связанную

конструктивными особенностями схемы (наличие фильтрующих цепей). Инерционность СИФУ в динамической модели ТПН представляют апериодическим звеном (рисунок 2), с постоянной времени $T_{\text{СИФУ}} = 5 - 10 \text{ мс}$ (для расчетов будет использовано среднее значение 7,5 мс.) [5].

Отрицательная обратная связь контура скорости заводится в ТПН, поэтому динамическая модель ТПН будет содержать на входе сумматор с инверсным входом. На инверсный вход поступает напряжение обратной связи $U_{\text{ОС}}$, предварительно скорректированное по уровню согласующем звеном с передаточным коэффициентом $k_{\text{Ф}}$. Также согласующее звено содержит инерционное звено второго порядка, образованное реактивными элементами электрической цепи якорь – ТПН.

В реальном преобразователе конструкторы используют последовательное корректирующее устройство (ПКУ) для компенсации постоянных времени ДПТ (так называемый регулятор скорости), передаточная функция которого учитывается в модели ТПН., обозначим её как $W_{\text{РС}}(p)$.

Двигатель постоянного тока является непрерывным устройством, динамические процессы которого описываются аналитически с помощью системы дифференциальных уравнений. Используя подстановку оператора Лапласа вместо производной по времени ($p = d/dt$), дифференциальные уравнения преобразуются в операторные уравнения ДПТ [1, с. 78].

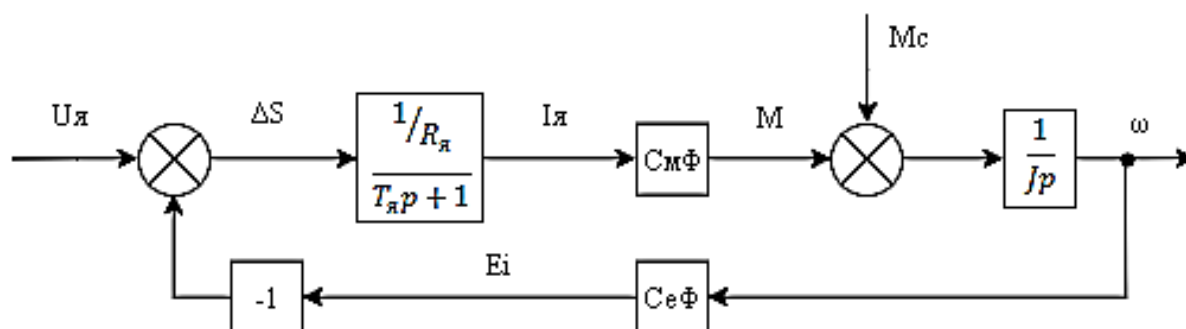


Рис. 4. Структурная схема ДПТ с независимым возбуждением

Из структурной схемы ДПТ (рисунок 4) видно, передаточную функцию можно составить по двум входным воздействиям: по управлению $U_{\text{я}}$, по возмущению $M_{\text{с}}$. Для анализа реакции системы на входное воздействие нам необходимо получить ПФ по управлению. Из структурной схемы находим ПФ:

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{\omega(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{\frac{1}{C_{\text{еФ}}}}{\frac{JR_{\text{я}}}{C_{\text{еСМФ}^2}T_{\text{я}}p^2 + \frac{JR_{\text{я}}}{C_{\text{еСМФ}^2}p + 1}} \quad (1)$$

Если ввести подстановку, то передаточная функция преобразуется к классическому виду инерционного звена второго порядка:

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{k_{\omega}}{T_{\text{М}}T_{\text{я}}p^2 + T_{\text{М}}p + 1}, \quad (2)$$

где k_{ω} – передаточный коэффициент двигателя по управлению при регулировании скорости, $T_{\text{М}}$ – механическая постоянная времени, $T_{\text{я}}$ – электрическая постоянная времени якорной цепи ДПТ.

Тахогенератор постоянного тока является обращенной электрической машиной, образованной от ДПТ путем перестановки входного воздействия и выходной реакции: теперь вращение является входным воздействием, а напряжение якоря – реакцией звена. Динамическая модель ТГП описывается позиционным звеном, так как зависимость выхода от входа линейная:

$$U_{\text{Т}} = S_{\text{Т}}\omega \quad (3)$$

$$W_{\text{ТГ}}(p) = \frac{U_{\text{Т}}(p)}{\omega(p)} = S_{\text{Т}} = k_{\text{ТГ}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{ТГ}}$ – передаточный коэффициент ТГП.

Редуктор и ШВП – механические устройства, преобразующие угловую скорость вала ДПТ $\omega_{\text{д}}$ сначала в промежуточную скорость тихоходного вала редуктора $\omega_{\text{р}}$, затем – в линейную скорость перемещения рабочего органа V [3, с. 42]. Описываются позиционными звеньями, ПФ которых представляется произведением коэффициента редукции и коэффициента передачи ШВП:

$$W_{\text{мех}}(p) = \frac{\omega_{\text{р}}(p)}{\omega_{\text{д}}(p)} \cdot \frac{V(p)}{\omega_{\text{р}}(p)} = k_{\text{р}}k_{\text{ШВП}} \quad (5)$$

На этом реальные устройства системы заканчиваются. На выходе СУ мы получаем линейную скорость V рабочего органа. Чтобы перейти от скорости V к перемещению S , необходимо проинтегрировать скорость по времени. В ТАУ на

этот счет имеется типовое интегрирующее звено, включив которое между $W_{\text{МЭХ}}(p)$ и выходом мы получим величину перемещения S . ПФ идеального интегрирующего звена имеет вид:

$$W_{\text{и}}(p) = \frac{S(p)}{V(p)} = \frac{1}{p} \quad (6)$$

Таким образом, если собрать структурные схемы блоков СУ воедино, получим полноценную динамическую модель (рисунок 5), пригодную для исследования переходных характеристик, устойчивости СУ в рамках ТАУ.

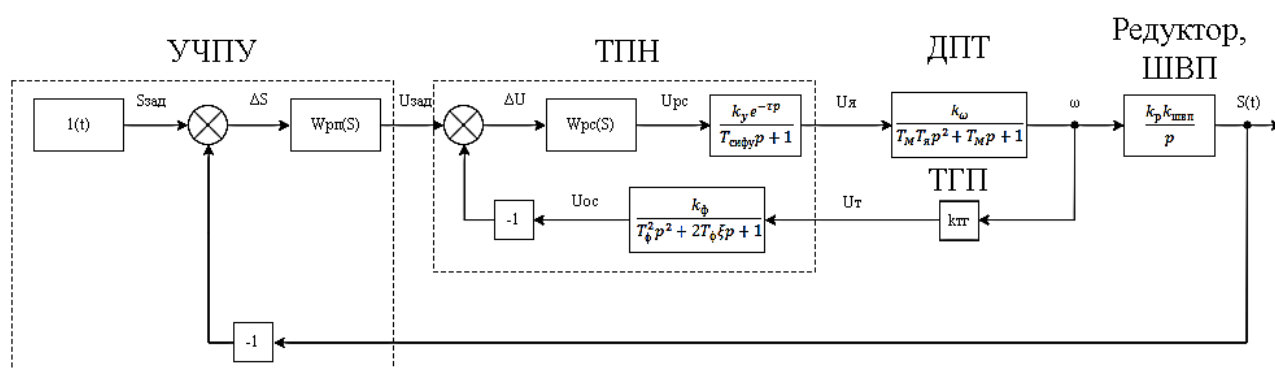


Рис. 5. Структурная схема СУ электропривода станка с ЧПУ

Список литературы

1. Бекишев Р.Ф. Общий курс электропривода: Учебное пособие / Р.Ф. Бекишев, Ю.Н. Дементьев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 302 с.
2. Воронин С.Г. Электропривод летательных аппаратов: Учебно-методический комплекс. – Offline версия 1.0. – Челябинск, 1995–2011. – файлов 489, ил [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://model.exponenta.ru/epivod/glv_070.htm (дата обращения: 27.05.2016).
3. Гордин П.В. Детали машин и основы конструирования: Учебное пособие / П.В. Гордин, Е.М. Росляков, В.И. Эвелеков. – СПб.: СЗТУ, 2006. – 186 с.
4. Коротаев В.В. Оптико-электронные преобразователи линейных и угловых перемещений. Часть 1. Оптико-электронные преобразователи линейных перемещений: Учебное пособие / В.В. Коротаев, А.В. Прокофьев, А.Н. Тимофеев. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 114 с.

5. Тиристорные преобразователи как объекты управления // Студопедия – Ваша школопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://studopedia.ru/6_128936_tiristornie-preobrazovateli-kak-ob-ekti-upravleniya.html (дата обращения: 27.05.2016).