

Примеры к методике преподавания курса «Управление в технических системах металлорежущих станков и промышленных роботов» 77-30569/254657

11, ноябрь 2011

автор: Никулин Ю. В.

УДК 681.5.01: 621.9

МГТУ им. Н.Э. Баумана
nikulin-com@mail.ru

В настоящее время в станкостроении России происходит важнейший поворот от традиционного процесса создания станка к высокопроизводительному конструированию его узлов на основе широчайшего применения программного обеспечения с помощью ЭВМ.

Совершенствование систем ЧПУ станками заставляет преподавателей ВУЗ ов и студентов старших курсов пересматривать статические и динамические условия работы основных, важнейших систем станка.

При проработке студентами в МГТУ им. Н.Э. Баумана систем управления техническими средствами станков и роботов в современных, крайне неблагоприятных для отечественного станкостроения условиях, характерно:

- слабое знание студентами - дипломниками динамических процессов, проходящих в станке при возмущающих воздействиях;
- отсутствие опыта математического моделирования выбранного варианта проектируемого станка;
- недостаточное знание переходных процессов в автоматизируемом станке, неудовлетворительное понимание разомкнутых и замкнутых систем автоматического регулирования в станочных системах;
- слабое знание студентами - дипломниками, операционного исчисления, как мощного средства описания инерционных процессов в станке;
- отсутствие единой иерархической системы рассмотрения динамических процессов в станке ;
- отсутствие у студентов расчетных динамических погрешностей при обработке на станке с ЧПУ сложных поверхностей и предварительного расчета точности их обработки;

К сожалению, в настоящее время стратегией в станочном комплексе РФ является стратегия выживания, происходящая в условиях неопределенности и неясности перспектив понимания студентами современной науки о станках и практики станкостроения.

Для решения комплекса этих проблем управления техническими системами станков, в МГТУ им. Н.Э. Баумана создана дисциплина, которая наряду со статическими условиями, предполагает рассмотрение сложных, динамических, многоконтурных систем автоматического управления узлами станка, содержащими электронные, гидравлические и механические блоки, системы и передачи [1].

Основное внимание при создании разделов этой дисциплины уделил д.т.н., профессор кафедры “ Металлорежущие станки” Г.Н. Васильев. Под его руководством была создана иерархическая система рассмотрения курса, разработаны планы семинарских занятий и часть лабораторных работ. Было решено, что часть первоначальных лекций будет прочитана студентам 4 курса кафедрой факультета “Информатика и управление”. Однако, в связи с особенностью динамических процессов в станкостроении, более углубленное представление о них, о взаимосвязях теории автоматического управления приводами станков, необходимо давать на старших курсах. Необходимость в этом продиктована также значительным применением вычислительной техники в станкостроении.

Иерархическая система курса “ Управление в технических процессах металлорежущих станков и промышленных работ” (УТСМС и ПР) представляет из себя “подчиненную” первоначально рассматриваемому, исполнительному рабочему органу станка с ЧПУ, структуру (Рис 1).



Рис. 1. Иерархическая система курса UTC MC и ПР.

Рассмотрим пример к методике преподавания курса UTC MC и ПР для студентов (магистров) старших курсов при изучении ими исполнительного органа станка с ЧПУ. Подобные задачи применяются нами при освоении студентами всех последующих разделов иерархической системы преподавания курса.

К настоящему времени и сами исполнительные органы MC и ПР и их математическое описание существенно усложнились из за появления новых приводных двигателей, новых частотных преобразователей, создания приводов с повышенными динамическими требованиями. С применением новых двигателей в практику управления прочно вошли понятия устойчивости приводов MC и ПР, управляемости приводов, динамическое описание электро (и гидро) двигателей, понятия о сельсинах, вращающихся трансформаторах, специальных синхронных электродвигателях и т.д. Существенное обновление к настоящему времени расчетного инструментария для описания динамики станочного двигателя потребовало адекватного отображения его в учебном процессе и

программном продукте. На сегодняшний день набором инструментальных средств (SIMULINK, POWER SYSTEM BLOCKSET и др.) Большинство методов, излагаемых в учебных курсах по теории автоматического управления, оформлены в этой среде.

После изложения студентам и последующей проработке ими обобщенной схемы следящих приводов МС и ПР с ЧПУ [1], следует построить структурную модель этих приводов в виде обобщенной структурной схемы.

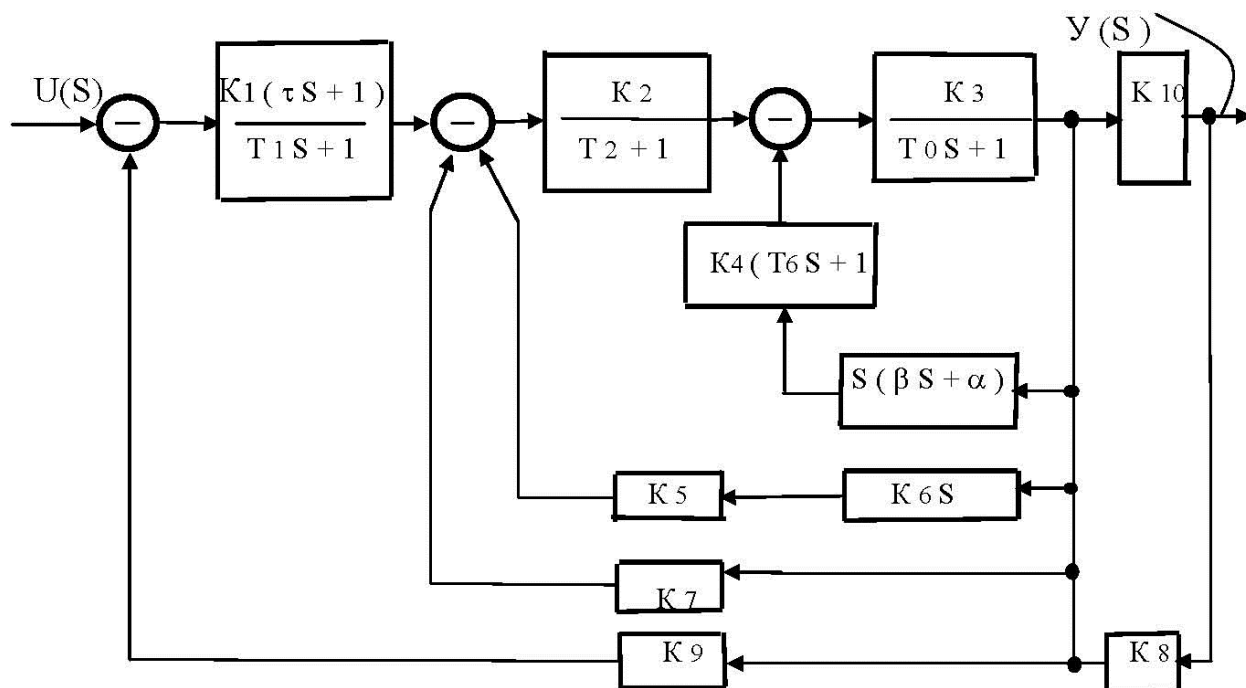


Рис 2. Обобщенная структурная схема следящего привода МС и ПР.

В качестве примера студентам можно предложить задать структурные коэффициенты K_5 , K_7 , K_8 и K_9 , которые определяют наличие или отсутствие соответствующих обратных связей, причем коэффициент K_4 следует отыскать. Коэффициент K_8 задает место установки датчика перемещения стола (или руки). Если он установлен на валу двигателя или на винте шариковой винтовой пары, то $K_8 = 0$. Если датчик перемещения установлен на рабочем органе, то $K_8 = 1$. Коэффициент β задает инерционную нагрузку на привод, коэффициент α определяет скоростное трение.

Коэффициент K_4 пропорционален жесткости механической характеристики исполнительного двигателя и слушателям курса его необходимо отыскать, задавшись разомкнутой и замкнутой по скорости схемой привода МС и ПР и электродвигателем постоянного тока (ДПТ).

Следует особо выделить динамические свойства двигателей, как единственных из устройств, преобразующих энергию из одного вида в другой.

Передаточная функция силового элемента МС и ПР – гидроцилиндра.

Преобразовав по Лапласу при нулевых начальных условиях уравнение движения линейной модели гидроцилиндра, получаем передаточную функцию гидроцилиндра по перемещению штока:

$$W_{\text{ц}}(S) = \frac{Z(S)}{Q(S)} = \frac{K_{\text{вц}}}{S(T''S'' + 2\xi TS + 1)},$$

где $K_{\text{вц}}$ - коэффициент усиления гидроцилиндра по скорости

T - постоянная времени гидроцилиндра

ξ - относительный коэффициент демпфирования.

Следует рассказать студентам о резонансной частоте, утечках, энергетических показателях гидроцилиндров. Применение коэффициента усиления гидроцилиндра по скорости $K_{\text{вц}}$ для нахождения K_4 студентам затруднительно.

Передаточная функция гидромотора.

Роль гидромотора при создании МС или ПР чрезвычайно велика [2].

Гидромоторы могут применяться в поворотных узлах ПР, приводе ходовых винтов тяжелых станков, перемещении крупногабаритных деталей и т.д. При использовании гидромоторов в следящих приводах МС с ЧПУ необходимо помнить, что гидромотор имеет 2 важнейших характеристики - скоростную и нагрузочную. На лекции приводятся понятия о коэффициенте усиления гидромотора по скорости K_d и по моменту K_m . Напомнив студентам о понятии “ передаточная функция гидромотора $W_d(S)$ ” следует вывести ее:

$$W_d(S) = \frac{\varphi(S)}{Q_d(S)} = \frac{K_d}{S(T_{\text{мех}}S + 1)},$$

где $\varphi(S)$ - изображение угла поворота ротора гидромотора

$Q_d(S)$ – преобразованное по Лапласу расходу масла на входе в гидромотор.

$T_{\text{мех}}$ – механическая постоянная времени гидромотора, пропорциональная приведенному моменту инерции вращающихся частей и коэффициенту эластичности нагрузочной характеристики гидромотора.

Следует сказать, что $T_{\text{мех}}$, применяемые в станках и роботах малы, что указывает на высокое быстродействие гидромоторов.

Коэффициент усиления гидромотора по скорости K_d не дает (без экспериментальных исследований) данных о нахождении K_4 .

Передаточная функция электродвигателя постоянного тока (ДПТ).

Необходимо подчеркнуть, что ДПТ очень широко применяются при создании ПР (двигатели с плоским якорем ДЯ – 250 в ПР ТУР – 10, электродвигатели в ПР модели М40. П. 05. 02 и т.д.). Специальные ДПТ с независимым возбуждением применяют и в приводах подач МС с ЧПУ.

Передаточная функция разомкнутого ДПТ представляет собой интегро - апериодическое звено:

$$W_{\text{эд}}(S) = \frac{n(S)}{U_{\text{я}}(S)} = \frac{K}{S(T_m S + 1)}$$

где T_m - электрохимическая постоянная времени электродвигателя.

Как видно из Рис 3, коэффициент K_4 , пропорциональный жесткости механической характеристики ДПТ, может быть просто определен по данным каталога, однако для замкнутой системы станка с ЧПУ его определение должно выполняться иначе.

Для разомкнутой системы регулирования он будет определяться уравнением :

$$n = K_1 U - K_4 M$$

где K_1 - коэффициент передачи ДПТ; $K_1 = \frac{\Delta n}{\Delta M}$ при $M = \text{const}$

K_4 - жесткость механической характеристики электродвигателя, равная $\tan \alpha$.

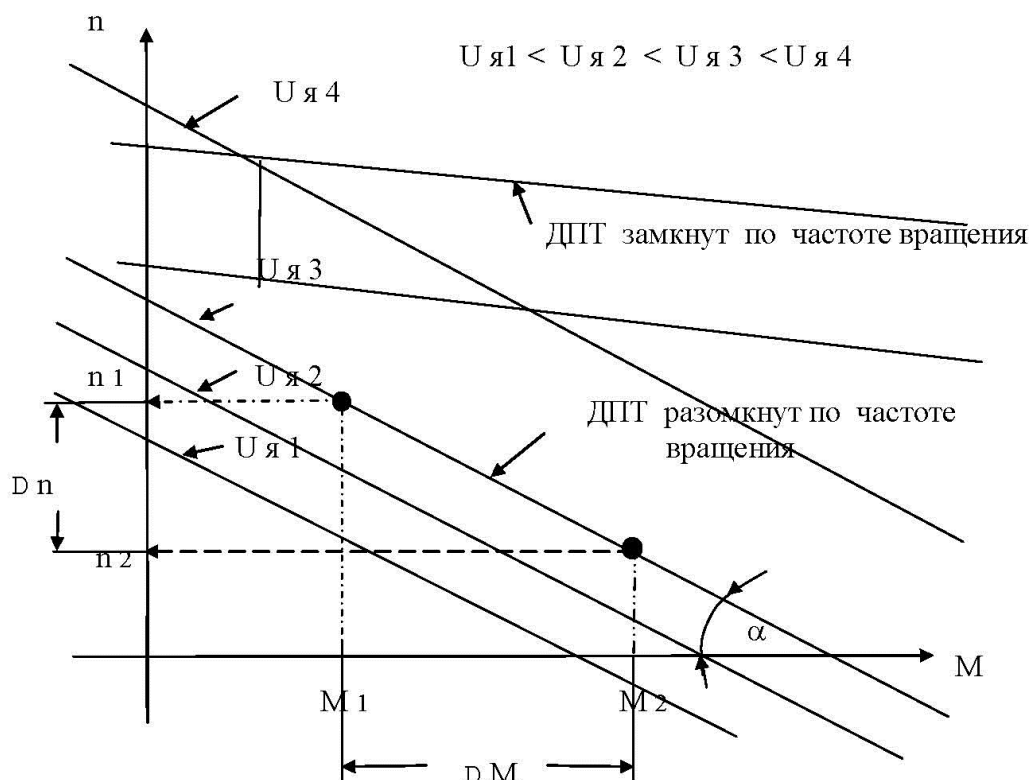


Рис. 3. Погрешность регулирования частоты вращения шпинделя с разомкнутой и замкнутой системой регулирования.

Если напряжение на якоре $U_{я} = \text{const}$, то изменение частоты вращения выходного вала ДПТ произойдет при изменении момента нагрузки M от M_1 до M_2 .

Иное происходит когда система привода МС или ПР замкнута, т.е. когда заданное напряжение U , сравнивается с напряжением тахогенератора $U_{тг}$ и пройдя через тиристорный преобразователь ТП, поступает на ДПТ.

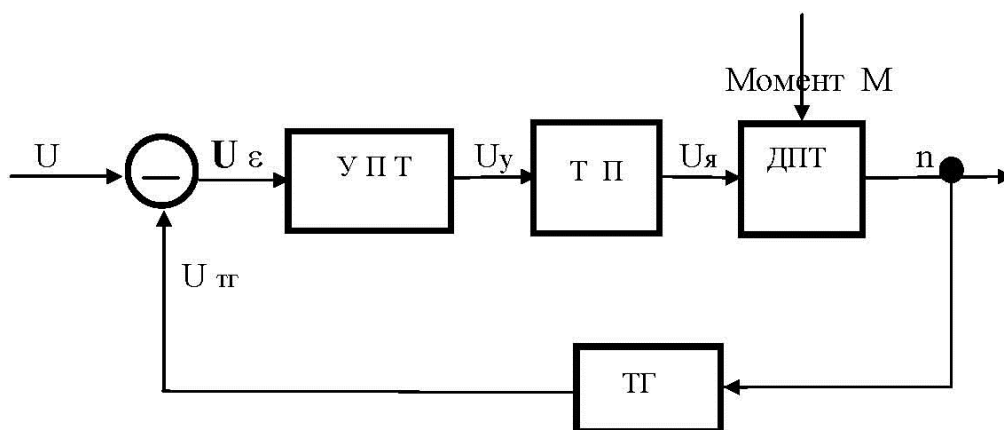


Рис 4. Пример замкнутой системы управления для отыскания коэффициента K_4 .

Замкнутый привод можно описать следующими уравнениями:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\varepsilon} = U - U_{тг} \\ U_{тг} = K_{тг} n \\ U_y = K_y U_{\varepsilon} \\ U_{я} = K_{тп} U_y \\ n_1 = K_1 U_{я} - K_4 M_1 \\ n_2 = K_1 U_{я} - K_4 M_2 \end{array} \right.$$

где $K_{тг}$, K_y , $K_{тп}$ - соответственно коэффициенты передачи тахогенератора ТГ, усилителя постоянного тока УПТ и тиристорного преобразователя ТП. Тогда, погрешность регулирования частоты вращения этого привода будет определяться уравнением:

$$\Delta n = (n_1 - n_2) = \frac{\Delta M K_4}{1 + K_{тг} K_y K_{тп} K_1}$$

В случае замкнутого по частоте вращения привода, можно подбирая величину коэффициента передачи $K_{п} = K_{тг} K_y K_{тп} K_1$ теоретически обеспечить любую точность

регулирования. На лекции необходимо подчеркнуть, что получить практически максимальной величину коэффициента передачи всего контура K_p невозможно, т.к. будут сказываться нелинейности элементов привода. Таким образом, введение отрицательной обратной связи по частоте вращения шпинделя позволяет уменьшить влияние как внешних, так и внутренних возмущений. Зная, что значение коэффициента K_p ограничено только динамическими параметрами системы регулирования (потеря устойчивости вследствие нелинейностей элементов), при расчетах следует это обстоятельство обязательно учитывать.

Из последнего уравнения (предварительно задавшись всеми коэффициентами усиления и получив механическую характеристику замкнутого привода МС или ПР) можно получить коэффициент K_4 , который характеризует жесткость механической характеристики ДПТ.

Исходя из частично рассмотренной методики преподавания курса УТС МС и ПР, разобранного на семинарских занятиях примера отыскания коэффициентов заставляющего студентов думать, можно сделать вывод о том, что этот курс является творческим, насыщенным, требующим знаний в теории управления станками и промышленными роботами. Сведения об устройствах, используемых в автоматическом управлении динамикой станка, студенты получают из различных курсов (ТАУ, вычислительная техника, управление в системах и т.д.). Однако, динамику процессов в приводах станков и роботов, построение ЛАЧХ замкнутых и разомкнутых систем, вычисление динамических погрешностей при обработке реальных деталей можно освоить только изучив данный курс.

Иерархия систем управления приводами станка с динамическими линейными уравнениями специальных исполнительных электродвигателей, знание типовых звеньев САР станка и ПР, умение отыскать и построить корректирующие звенья системы, построение и обоснование логарифмических амплитудно – частотных и фазовых характеристик приводов, умение назначать запасы по амплитуде и фазе для обеспечения устойчивости системы станка с ЧПУ, все это позволяет после освоения курса УТС МС и ПР, осуществить четкое взаимодействие между станочной исполнительной системой и системой всего завода, фирмы, цеха.

Список литературы

1. Васильев Г.Н. Автоматизация проектирования металлорежущих станков – М.: Машиностроение. 1987. – 280 с., ил.
2. Лещенко В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. – М. : Машиностроение, 1975. - 280 с., ил.

Examples to the teaching method of “Management in technical systems of cutting machines and industrial robots” course

77-30569/254657

11, November 2011

author: Y. Nikulin

Bauman Moscow State Technical University

nikulin-com@mail.ru

This article is devoted to the teaching method of «Management in technical systems» (MTS) in the sphere of designing and creating of cutting machines and industrial robots and to the development of examples for control system (CS) of numeric control machine tools (NC), these examples were presented in the lectures. Teaching method of MTS course at Cutting machines department was considered; generalized block diagram of executive devices' follower drives was presented; the most difficult problems for students were considered.

Reference

1. Vasil'ev G.N., Automation of designing of metal-cutting machine tools, Moscow, Mashinostroenie, 1987, 280 p.
2. Leshchenko V.A., Hydraulic watching drives of machine tools with programmed control, Moscow, Mashinostroenie, 1975, 280 p.