

ЭТАЛОННЫЕ СВОЙСТВА ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ

Уласюк Н.Н., Сычик В.А.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

Формулировка задачи

Пусть заданы:

- желаемые свойства движения управляемой системы в виде уравнений для координат, рассматриваемых в качестве выходных

$$\dot{x} = f(\bar{x}, x, t), \quad (1)$$

где $f(\cdot)$ – заданный оператор, в общем случае нелинейный. В задачах типа стабилизации $\bar{x} = const$. В задачах типа виброзащиты $\bar{x} = 0$;

- ограничения на выходные переменные исполнительных приводов:

$$q_{pi-} \leq q_{pi}(x, u, t) \leq q_{pi+}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (2)$$

где q_{pi-} , q_{pi+} – соответственно нижние и верхние допустимые величины выходных переменных силовых исполнительных механизмов и преобразующих устройств;

- ограничения на выходные переменные системы либо некоторые функционалы от них (например перемещения плунжеров исполнительных механизмов в пределах допустимых их динамических ходов):

$$h_{l-} \leq h_l(x, u, t) \leq h_{l+}, \quad l = 1, \dots, L, \quad (3)$$

где $h_l(\cdot)$ – заданные функционалы; h_{l-} , h_{l+} – соответственно нижние и верхние допустимые значения функционалов;

- ограничения на управляющие функции:

$$u_{i-} \leq u_i(t) \leq u_{i+}, \quad i = 1, \dots, m, \quad (4)$$

где u_{i-} , u_{i+} – соответственно нижние и верхние допустимые значения управляющей функции;

- функции предпочтения для составляющих информационную базу системы нечетко определенных параметров z_i управляемого процесса и критерия:

$$\mu_{Ai}(z_i), \quad i = \overline{1, l}, \quad (5)$$

где $\mu_{Ai}(z_i)$ – функция принадлежности параметра z_i : $0 \leq \mu_{Ai}(z_i) \leq 1$; A – заданное множество.

Требуется: построить управляющие функции $u_i(t)$, $i = 1 \dots m$ такие, что обеспечиваются условия оптимальности движения (1) управляемой системы в каждый момент времени при удовлетворении ограничений (2)-(5) и, кроме того, гарантируется асимптотическая устойчивость управляемой системы, т. е.:

$$x(t) \rightarrow \bar{x}(t), \quad \dot{x}(t) \rightarrow 0 \quad \text{при } t \rightarrow \infty. \quad (6)$$

Предполагается, что функционалы $f(\cdot)$ и $F(\cdot)$ таковы, что обеспечивается существование и единственность решения сформулированной задачи управления.

Эталонные свойства движения

В основе используемой теории управления и разработанных алгоритмов адаптивного управления лежат желаемые свойства движения управля-

емой переменной. Поэтому первостепенное внимание уделяется заданию упомянутых свойств, являющихся критерием качества управления.

На рисунках 1-4 приведены примеры линейных и нелинейных свойств движения для эталонных движений, задаваемых дифференциальными уравнениями первого и второго порядков, где следующие обозначения:

q_1 – эталонное движение выходной переменной (решение уравнений эталонного движения);

eps – ошибка;

t_c – желаемая длительность переходного процесса по выходной переменной при отработке постоянного командного сигнала, сек; ψ – коэффициент аperiodичности колебаний, безразмерный. В технике автоматических систем переходной процесс при $\psi = 0,707$ считают наилучшим; ω_0 – частота малых не демпфированных колебаний линейной системы, $1/c$: $\omega_0 = 3/t_c$; Δ – шаг изменения соответствующего параметра.

На рисунках 1-2 приведены свойства движения (экстремали), реализуемые при линейных критериях качества для различных значений параметров ψ и t_c . Как видно, если желаемые свойства движения задаются в классе линейных критериев, оптимальному переходному процессу всегда соответствует некоторое перерегулирование. Другими словами, существует противоречие между желаемой точностью и быстродействием. Поэтому в технике автоматических систем выбирают компромиссный вариант, при котором обеспечивается ошибка порядка 5%. Этому варианту соответствует $\psi = 0,707$.

Таким образом, оставаясь в классе линейных критериев, невозможно повышать быстродействие системы без потери точности, так же как и повышать точность системы без потери быстродействия. Это относится ко всем системам управления, в основу функционирования которых положены линейные критерии качества. Заметим, что под линейными критериями здесь понимаются свойства движения, заданные линейными дифференциальными уравнениями.

Классические ПИ- и ПИД-регуляторы реализуют линейные свойства движения (линейные критерии качества) и поэтому ни при каких значениях параметров регулятора в принципе не могут сочетать высокое быстродействие и точность без перерегулирования. Рисунки 1-2 демонстрируют сказанное. Высокое качество управляемого процесса без перерегулирования может быть обеспечено при использовании нелинейных назначенных свойств движения управляемой системы.

На рисунке 3 и рисунке 4 приведены свойства движения, реализуемые при нелинейных критериях.

риях для различных значений параметров ψ и t_c . На рисунке 3 приведены экстремали для критерия второго порядка, а на рисунке 4 – для критерия первого порядка. Видно, что в классе нелинейных критериев представляется возможным сочетать точность и быстродействие без перерегулирования. При использовании соответствующих приводов можно реализовать любые желаемые свойства движения без потери быстродействия и точности. Это качество, присущее только нелинейным критериям, лежит в основе синтезированных алгоритмов адаптивного управления.

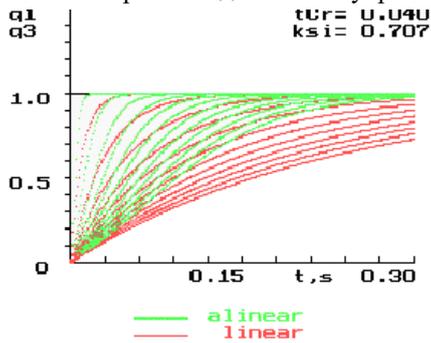


Рисунок 1 – Свойства движения (экстремали), реализуемые при линейных критериях качества второго порядка при $t_c = 0,1$ с для различных значений параметров ψ ($\psi = 0,15..1,0$; $\Delta\psi = 0,1$)

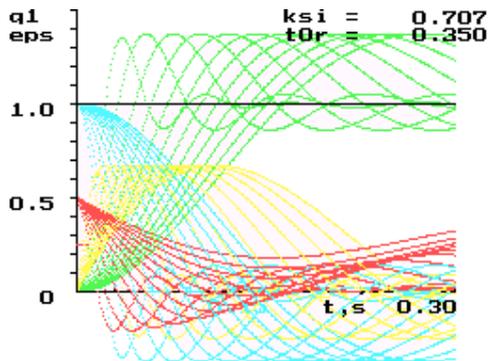


Рисунок 2 – Свойства движения, реализуемые при линейных критериях качества второго порядка при $\psi = 0,3$ для различных значений параметра t_c ($t_c = 0,01..0,25$ с.; $\Delta t_c = 0,02$ с.)

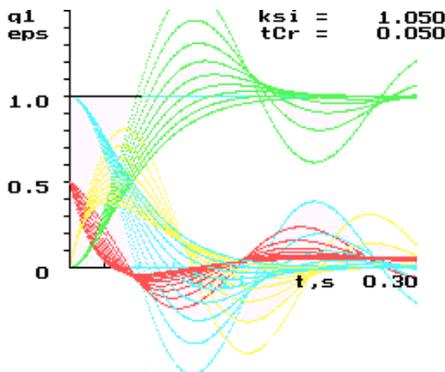


Рисунок 3 – Свойства движения, реализуемые при линейном (кривая 1) и нелинейном (кривая 2) критериях второго порядка для $\psi = 0,707$

В рассмотренных примерах использовались нелинейные свойства движения, которым соответствуют управляемые процессы без перерегулирования при высоком быстродействии. Для полной реализации возможностей алгоритма управления, в частности обеспечения высокого быстродействия системы, необходимы соответствующие устройства, их реализующие.

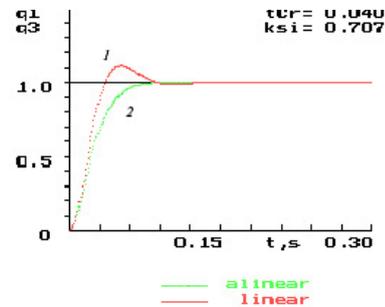


Рисунок 4 – Свойства движения, реализуемые при линейном (кривая 1) и нелинейном (кривая 2) критериях первого порядка при идентичных значениях параметров ψ и t_c ($\psi = 0,707$; $t_c = 0,05$ с.)

Также следует упомянуть о свойствах измерительных устройств. Последние, являясь динамическими звеньями, вносят запаздывание в формируемую им оценку измеряемой переменной. В связи с этим, необходимо корректировать полученные оценки, так как без компенсации запаздывания в системе возникают явления, типа автоколебательных. Поэтому целесообразно использовать соответствующие алгоритмы, обеспечивающие компенсацию недостатков используемых измерительных устройств, либо специальные алгоритмы.

Таким образом, оставаясь в классе линейных критериев, невозможно повышать быстродействие системы без потери точности, так же как и повышать точность системы без потери быстродействия. Этот основополагающий принцип лежит в основе всех линейных критериев качества. Классические ПИ- и ПИД-регуляторы реализуют, по установившейся терминологии, линейные критерии качества и поэтому ни при каких параметрах регуляторов не могут сочетать высокое быстродействие и точность.

Высокое качество управляемого процесса может быть обеспечено при использовании нелинейных свойств движения управляемой системы. В классе нелинейных критериев можно увеличивать быстродействие без потери точности, т. е. при использовании соответствующих приводов представляется возможным реализовать любые желаемые свойства движения. Это качество, присущее только нелинейным критериям, лежит в основе предлагаемых алгоритмов адаптивного управления.

Разница между экстремалами, соответствующими линейным и нелинейным критериям, характеризует потери качества управления в каждый

момент времени при использовании линейных критериев. Таким образом, целесообразность использования нелинейных критериев качества, порождающих экстремали типа рассмотренных, не вызывает сомнений. В предлагаемых адаптивных

алгоритмах управления могут использоваться линейные и нелинейные критерии первого и второго порядков. При этом достаточно ограничиться нелинейными критериями второго порядка.

УДК 621.941

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУЖКООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФИНИШНОМ ТОЧЕНИИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti6Al4V

Фельдштейн Е., Лексыцки К.

Зеленогурский университет, Зелена Гура, Польша

Материалы, используемые в медицине, включают нержавеющие стали, никелевые сплавы, титановые сплавы, сплавы на основе соединений кобальта и хрома и др. [1]. Наиболее часто используемые материалы – это нержавеющая сталь 316 L, титановый сплав Ti6Al4V и сплавы типа Co-Cr-Mo, Ni-Ti [2].

Исследуемый ниже титановый сплав имеет высокую прочность, низкий модуль упругости и низкую плотность. В контакте с организмом человека титан характеризуется превосходной коррозионной стойкостью, что делает его идеально пригодным для взаимодействия с людским организмом. Высокая механическая прочность титановых сплавов обеспечивает их высокую усталостную прочность и сопротивление механическим повреждениям. С другой стороны, эти сплавы характеризуются низкой обрабатываемостью, поскольку имеют низкую теплопроводность, низкий модуль упругости и высокую химическую активность. В ходе обработки в зоне резания возникают высокие температуры, происходит ускоренный износ инструмента, наблюдаются интенсивные вибрации, поэтому рекомендуется производить обработку с низкими скоростями резания

Форма стружки при обработке титановых сплавов тесно связана с режимами резания. Различия в формировании стружки наиболее заметно при высоких подачах и при высоких скоростях резания [3].

В [4] выполнен сравнительный анализ обработки титанового сплава Ti6Al4V без охлаждения и в условиях криогенического охлаждения. Установлено, что в последнем случае обеспечивается лучшая эффективность по сравнению с обработкой без охлаждения, поскольку уменьшается износ инструмента, улучшается качество обработанной поверхности, повышается способность стружколомания.

В [5] анализировалось формирование стружки при точении титанового сплава Ti6Al4V в условиях охлаждения под высоким давлением. При этом зафиксировано увеличение интенсивности образования сегментированной стружки и

толщины стружки по сравнению с традиционными условиями охлаждения.

Механика стружкообразования имеет важное влияние на процесс обработки, тогда как форма стружки является внешним отражением физических процессов имеющих место при резании. На основании характера стружки можно получить информацию об особенностях обрабатываемой детали, специфики режущего инструмента и процесса обработки [6].

Целью исследования был анализ формирования стружки в условиях финишной токарной обработки титанового сплава Ti6Al4V.

Исследования выполнялись на токарном станке с ЧПУ CTX 510 ecoline. Использовались резцы с оправкой CoroTurn SDJCR 2525M 11 с неперетачиваемыми пластинами Coro Turn DCMX 11 T3 04-WM 1115 с покрытием (Ti,Al)N+(Al,Cr)₂O₃, нанесенным способом PVD. Углы режущего лезвия: главный угол в плане 93°, главный передний угол 18°, главный задний угол 7°, радиус вершины 0,4 мм, ширина фаски на передней поверхности 0,1 мм.

Точение выполнялось при резании без охлаждения и при охлаждении эмульсией на основе концентрата Castrol Alusol SL 51 XBB с рабочей концентрацией 7 %.

Обрабатывался титановый сплав Ti6Al4V, имеющий твердость ~334 НВ и временное сопротивление ~620 МПа.

Диапазон режимов резания: скорости резания 40–120 м/мин и подачи 0,05–0,4 мм/об. Использовалась постоянная глубина резания, равная 0,5 мм, что является характерным при финишной обработке.

Коэффициент утолщения стружки K_b является важным показателем, который характеризует особенности формирования стружки. Коэффициент определяет скорость перемещения стружки вдоль передней поверхности и используется для расчетов ряда параметров зоны стружкообразования, сил резания, остаточных напряжений в поверхностном слое и т. д. Величину коэффициента утолщения стружки можно рассчитать по формуле: