

УДК 621.3

А. П. Корнеев, В. Н. Ситников**МЕТОД КОСВЕННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ СКОРОСТИ В СИСТЕМАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ**

Рассмотрена необходимость применения замкнутой системы автоматического управления с распределёнными параметрами и варианты ее построения. Приведен новый способ определения скорости присоединенной массы в системе с распределенными параметрами с помощью специального корректирующего устройства. Описан способ вычисления скорости и представлено математическое описание построения такого устройства.

В настоящее время наблюдается постоянный рост требований к точности, быстродействию и, особое внимание, надёжности систем автоматизированного электропривода (АЭП). Для удовлетворения этих требований необходимо обладать достоверной информацией о состоянии электрической и механической частей АЭП, что обуславливает необходимость рассмотрения во многих случаях механической части как системы с распределёнными параметрами (РП), так как большое влияние на работу АЭП оказывают упругие деформации механических элементов, содержащих звенья с РП. Недостаточно точное математическое описание такого оборудования приводит к большим погрешностям при анализе и синтезе систем управления, уменьшению точности их работы, потере устойчивости электропривода и возникновению незатухающих автоколебаний, для устранения которых приходится корректировать настройки системы управления. Все это снижает надёжность АЭП, а в ряде случаев приводит к разрушению установки [1].

Для построения замкнутой системы автоматического управления (САУ) необходимо наличие одной или нескольких обратных связей, выбор и реализация которых позволяет улучшить такие характеристики системы как качество переходного процесса и запас устойчивости. Исследованы и широко применяются одно-, двух- и трехмассовые системы, для которых осуществлен синтез системы управления.

Сложность математического описания объекта с РП не позволяет применять существующие способы управления и коррекции. Передаточная функция механического элемента имеет трансцендентный вид даже для простейших случаев из-за наличия тригонометрических и гиперболических функций. Для исследования и управления систем с РП выполняется их аппроксимация в виде модели с сосредоточенными параметрами.

Основная трудность заключается в том, что передаточные функции объекта обладают ярко выраженными резонансными (антирезонансными) свойствами, практически исключают возможность расширения полосы пропускания разомкнутой системы за частоту первого резонанса при нерезонансном регуляторе, а, следовательно, системы управления системами с РП имеют отличия от стандартных настроек систем [2].

Значительно более эффективно задача формирования требуемых динамических свойств разомкнутой системы может быть решена за счет использования дополнительных обратных связей. Обратная связь, подключенная особым способом, позволяет перераспределить нули и полюса передаточной функции, тем самым сдвинуть резонансы вправо не прибегая при этом к резонансным регуляторам.

Построение замкнутой системы управления возможно при использовании обратной связи по координате исполнительного механизма и (или) промежуточной

координате, основная проблема при этом заключается в построении таких обратных связей.

Для непосредственного измерения возможно использование датчиков скорости различных типов (контактных и бесконтактных) и принципов измерения (непосредственного или преобразованием перемещения или ускорения).

При контактном способе определения скорости датчик устанавливается непосредственно на объекте и одним из способов соединяется либо с направляющими, либо с опорной поверхностью. Данный способ отличается относительно невысокой стоимостью сенсорных устройств, однако приводит к повышению затрат на эксплуатацию системы и постепенному износу датчиков из-за наличия подвижных частей.

Для определения скорости бесконтактным способом могут использоваться: ультразвуковые, микроволновые или оптические (лазерные) датчики. При использовании ультразвуковых датчиков определяется расстояние до объекта на основании известной скорости ультразвуковой волны и времени её распространения от датчика до объекта и обратно. По изменению расстояния до объекта за определенные промежутки времени можно найти скорость его движения. Микроволновые и лазерные датчики применяются в таких распространенных устройствах, как радары. Радар посылает импульсный или непрерывный сигнал радиочастоты и регистрирует отраженный сигнал. Частота сигнала, отраженного от движущегося объекта, изменяется в соответствии со скоростью и направлением движения (эффект Доплера). Таким образом, определив изменение параметров сигнала, можно найти скорость движения объекта. Лазерный радар, в отличие от обычного радара, использует лазерное излучение для определения скорости объекта. Он через определенные промежутки времени измеряет расстояние от устройства до цели и по его изменению вычисляет скорость.

Для измерения расстояния до объекта можно использовать промышленные сенсоры. Так, например, можно применить промышленные устройства измерения расстояния серии ЕДМ фирмы «Пепцерл и Фучс». Датчики обладают высокой скоростью измерения (до 1000 измерений в секунду). Диапазон измерения расстояния от 0,5 до 240 м, ошибка измерения 5 мм. При использовании таких способов измерения датчик должен устанавливаться стационарно. Однако существует ряд датчиков, которые могут устанавливаться непосредственно на движущемся объекте и измеряют его скорость относительно движущейся поверхности. Например, «Ладак» – это бесконтактная измерительная система фирмы «Зумбах Электроникс АГ», соответствующая современному уровню техники для высокоточных измерений скорости и длины. Принцип функционирования основан на эффекте Доплера и использовании образцов интерференции на движущейся поверхности объекта. Обладает высокой точностью 0,05 %. Измеряет только линейную составляющую движения. Работает на любых изделиях или поверхностях любого цвета, включая черный. Диапазон измерения скорости от 2,4 до 1200 м/мин, частота измерений до 1 560 000 измерений в секунду.

Оптические датчики «Корревит» предназначены для бесконтактного и непрерывного измерения дистанции и скорости. Были разработаны для исследования динамики транспортных средств. Датчики имеют компактные размеры и невысокую массу. Диапазон измеряемых скоростей от 0,5 до 400 км/ч. Точность измерения до 0,1 %.

Построение замкнутой САУ систем с РП, механическая часть которых обладает, в основном, пространственно протяженными размерами, возможно при использовании наблюдающих или специальных корректирующих устройств.

В последнее время в связи с развитием элементной базы и появлением программных продуктов, которые облегчают анализ и синтез сложных систем, значительно повысился интерес к САУ с наблюдателями состояния (НС). НС – устройство для измерения координат объекта, в основу которого положено математическое описание этого объекта. Необходимость использования устройств наблюдения обусловлена их способностью оценивать значения координат, которые невозможно или очень сложно измерять непосредственно (с помощью соответствующих датчиков) [3,4].

Задача НС состоит в том, чтобы получить значение неизвестного сигнала путем минимизации разности этого сигнала и сигнала, полученного вычислением. Наблюдающие устройства, построенные на основании эвристического метода, являются чувствительными к изменению параметров. Регулярные методы синтеза НС устраняют этот недостаток. Наблюдающее устройство обладает некоторой степенью избыточности. Избыточность НС заключается в идентификации всего вектора состояния объекта при необходимости определения части вектора, которая устраняется при его редуцировании. Для САУ с НС характерна сложная структура с большим количеством перекрёстных связей и высоким порядком системы дифференциальных или разностных уравнений, которые описывают её поведение в динамических режимах, анализ которых сложная задача, требующая для упрощения разработки новых подходов и использования современных программных продуктов [3, 5]. Расширение области применения НС в САУ отдельной структурой сделало возможным заведение сигналов обратных связей с восстановленными координатами в те части объекта регулирования, модель которых положена в основу НС. Одним из важных этапов синтеза таких систем является выбор распределения нулей и полюсов. Существует много нерешенных проблем, касающихся выбора стандартных полиномов и разработки новых канонических распределений, оценки их чувствительности к изменению параметров для систем с НС.

При синтезе НС в аналоговой форме возникают дополнительные проблемы помехозащищенности, нестабильности параметров операционных усилителей, а также необходимость масштабирования переменных (привязки их к уровням питающего напряжения). Масштабирование приводит к снижению уровней полезных сигналов в НС при работе в установившемся режиме в десятки и сотни раз. Подобных недостатков лишены цифровые НС (ЦНС), поэтому даже в САУ с аналоговыми регуляторами их применение целесообразно. Построение ЦНС по дискретному описанию объекта управления является основным способом синтеза.

Применение НС в системах с РП достаточно слабо освещено в литературе, что связано со сложным математическим описанием и реализацией. Способ описания и реализации простейшего НС рассмотрен в [6]. Специальные корректирующие устройства разрабатываются для систем с РП определенного типа и вида деформаций, и особенность применения заключается в упрощении структуры для конкретного вида. В научной литературе существует мнение, что сигнал скорости двигателя из-за наличия распределенной упругости механизма не несет информации о действительном изменении скорости объекта, отличающейся от скорости вала двигателя, следовательно, замкнутая система с использованием обратной связи (ОС) по скорости двигателя является разомкнутой по выходу и применение ОС не приводит к улучшению качества переходного процесса и устойчивости системы с РП. Метод косвенного вычисления скорости основан на гипотезе о том, что информация о скорости исполнительного механизма в системе с РП может быть определена из известной скорости вала двигателя с помощью преобразований.

Рассмотрим реализацию метода косвенного вычисления для системы с РП кольцевого типа.

Передаточная функция от движущего усилия на валу двигателя к скорости вала двигателя для системы кольцевого типа с РП [7]:

$$W_{\xi,p} = \frac{ch(p \cdot t_B \cdot \xi) \cdot sh(p \cdot t_B)}{2 \cdot a \cdot (sh^2(p \cdot t_B) + \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot p^2 \cdot t_B^2 \cdot (ch^2(p \cdot t_B) - ch^2(p \cdot t_B \cdot \xi)) + (\mu_1 + \mu_2) \cdot p \cdot t_B \cdot sh(p \cdot t_B) \cdot ch(p \cdot t_B))} \quad (1)$$

Передаточная функция от движущего усилия на валу двигателя к скорости исполнительного механизма для системы кольцевого типа с РП:

$$W_{\xi,p} = \frac{ch(p \cdot t_B \cdot \xi) \cdot sh(p \cdot t_B) + \mu_2 \cdot p \cdot t_B \cdot (ch^2(p \cdot t_B) - ch^2(p \cdot t_B \cdot \xi))}{2 \cdot a \cdot (sh^2(p \cdot t_B) + \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot p^2 \cdot t_B^2 \cdot (ch^2(p \cdot t_B) - ch^2(p \cdot t_B \cdot \xi)) + (\mu_1 + \mu_2) \cdot p \cdot t_B \cdot sh(p \cdot t_B) \cdot ch(p \cdot t_B))} \quad (2)$$

где ξ – координата исполнительного механизма, относительные единицы; $\mu_i = M_i/M_k$ – i -я относительная сосредоточенная масса, относительные единицы; a – скорость волны распространения колебаний, м/с; t_B – время прохождения волны в одном направлении системы, с.

На основании приведенных передаточных функций, описывающих состояние системы с РП в различных точках, можно определить функцию, позволяющую преобразовать один сигнал в другой.

Отношение передаточных функций (1) и (2):

$$W_k(\xi, p) = \frac{ch(p \cdot t_B \cdot \xi) \cdot sh(p \cdot t_B)}{ch(p \cdot t_B \cdot \xi) \cdot sh(p \cdot t_B) + \mu_2 \cdot p \cdot t_B \cdot (ch^2(p \cdot t_B) - ch^2(p \cdot t_B \cdot \xi))} \quad (3)$$

Полученная передаточная функция приводится к виду:

$$W_k(\xi, p) = \frac{1}{1 + W_{k1}(\xi, p) \cdot \mu_2 \cdot p \cdot t_B} \quad (4)$$

Графическое представление (4) изображено на рис. 1.

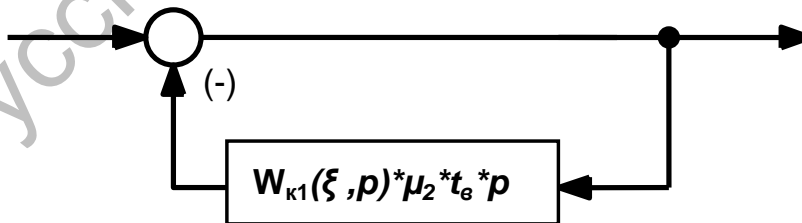


Рис. 1. Графическое представление преобразованной передаточной функции

При этом передаточная функция $W_{k1}(\xi, p)$ имеет вид:

$$W_{kl}(\xi, p) = \frac{ch^2(p \cdot t_B) - ch^2(p \cdot t_B \cdot \xi)}{ch(p \cdot t_B \cdot \xi) \cdot sh(p \cdot t_B)}, \quad (5)$$

который является более простым и удобным для исследования и моделирования. Аппроксимация передаточной функции позволяет учитывать изменение резонансных свойств системы с РП при изменении парциальных параметров.

Преимущества полученной передаточной функции:

- отсутствие зависимости передаточной функции и, следовательно, нулей и полюсов от первой и второй присоединенной массы;
- отсутствие степеней при p выше первой в знаменателе, что упрощает ее исследование;
- отсутствие слагаемых в знаменателе, позволяющее ее дальнейшее преобразование и упрощение.

Недостатки полученной передаточной функции:

- наличие гиперболических тригонометрических функций, усложняющее исследование;
- наличие дифференцирующего звена, которое негативно сказывается на реализации передаточной функции.

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) корректирующего звена (1) и скорости исполнительного механизма (2) представлены на рис. 2.

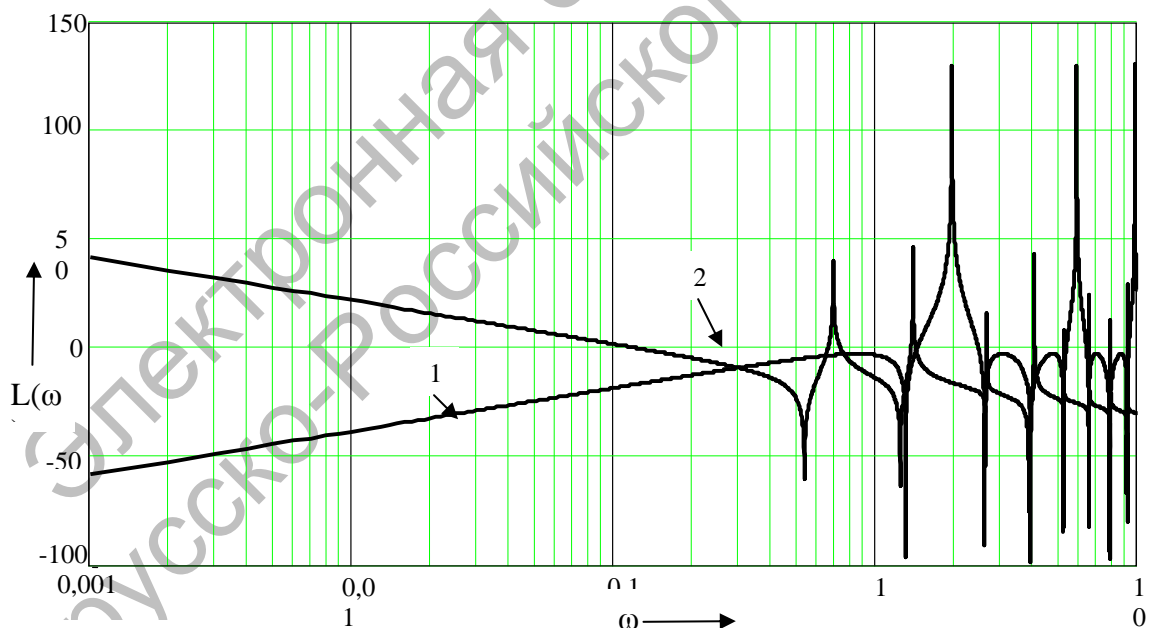


Рис. 2. ЛАЧХ передаточных функций

Заключение

Таким образом, применение полученного способа коррекции позволяет преобразовывать скорость вращения двигателя в скорость исполнительного механизма; резонансные частоты данного устройства смещены в высокочастотную область, что позволяет упростить реализацию корректирующего устройства;

инвариантность частотных свойств корректирующего устройства от значения присоединенных масс позволяет упростить его реализацию; применение предложенного метода косвенного вычисления скорости позволяет построить замкнутую САУ электромеханической системой с РП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Башарин, А. В.** Параметрическая идентификация промышленных объектов с упругими связями первого и второго рода / А. В. Башарин, М. Ф. Будилов, С. Б. Федотовский // Многомерные электромеханические системы : межвузовский сб. – Л. : СЗПИ, 1986. – С. 19-29.
2. **Бутковский, А. Г.** Методы управления системами с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский. – М. : Наука, 1975. – 230 с.
3. **Кузовков, Н. Т.** Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – М. : Машиностроение, 1976. – 184 с.
4. **Рассудов, Л. Н.** Электроприводы с распределёнными параметрами электромеханических элементов / Л. Н. Рассудов, В. Н. Мядзель. – Л. : Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
5. **Толочко, О. І.** Анализ та синтез електромеханічних систем зі спостерігачами стану / О. І. Толочко. – Донецк : Норд-Пресс, 2004. – 298 с.
6. **Корнеев, А. П.** Применение наблюдателей состояния в системах с распределёнными параметрами / А. П. Корнеев, Г. С. Ленецкий // Информационные технологии, энергетика и экономика : материалы докл. II-ой межрегиональной науч.-техн. конф. студентов и аспирантов : в 4 т. – Смоленск, 2005. – С. 40–44.
7. **Змеу, К. В.** Передаточные функции волновых одномерных точечно-неоднородных кольцевых объектов / К. В. Змеу, Л. Н. Рассудов // Автоматика и телемеханика. – 1982. – № 5. – С. 52-56.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 15.02.2006

A. P. Korneev, V. N. Sitnikov
Method of indirect speed calculation
in the distributed parameters systems
Belarusian-Russian University

Necessity of closed distributed parameters automatically control system application and variants of its construction are considered. The new way of speed determination of the attached weight in the distributed parameters system using the special adjusting device is proposed. The method of speed calculation is described and the mathematical description of such device construction are submitted.