

УДК 621.3.078.4

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

А. П. КОРНЕЕВ, Г. С. ЛЕНЕВСКИЙ, И. С. СТАСЕНКО

ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Могилев, Беларусь

UDC 621.3.078.4

INCREASING RELIABILITY OF LIFTING INSTALLATION BY SYNTHESIS OF CONTROL SYSTEM

A. P. KORNEEV, G.S. LENEVSKY, I.S. STASENKO

Аннотация

Представлен способ построения замкнутой системы управления электромеханической системы с распределенными параметрами с помощью корректирующего устройства, которое действует на основании восстановленных данных и находится в обратной связи. Предложена методика синтеза системы управления электромеханической системы с распределенными параметрами для повышения надежности грузоподъемных установок.

Ключевые слова:

система с распределенными параметрами, резонанс, корректирующее устройство, восстановление данных, гиперболическая тригонометрическая функция, грузоподъемная установка.

Abstract

A method for constructing a closed control system for an electromechanical system with distributed parameters by means of a correcting device that operates on the basis of the reconstructed data is presented and is in the feedback. A technique for synthesizing a control system for an electromechanical system with distributed parameters is proposed to increase the reliability of lifting equipment.

Key words:

distributed parameters system, resonance, correction device, data recovery, hyperbolic trigonometric function, lifting installation.

Многочисленные объекты различных областей техники представляют собой системы с распределенными параметрами. К ним относятся линии электропередач, трубопроводы для перекачки воды и нефти, устройства, содержащие длинные стержни (например, в бурильной установке – колонна труб, в глубинно-насосных установках – штанга, в подъемных механизмах – трос и канат) и т. д. [1, 2].

Основное направление проводимых исследований – создание комплексной методики проектирования системы электропривода как единой электромеханической системы с учетом существенного распределения параметров и связей и реальных условий промышленной эксплуатации. Сле-

дует указать на проблему поиска оптимальных структур, обеспечивающих высокое качество динамики в условиях взаимосвязи электрических, механических и технологических факторов, естественной вариации параметров.

При функционировании постоянно изменяется переменная x , характеризующая относительное положение рабочей массы (груза) в системе с распределенными параметрами. Наибольшее влияние на работу оказывает изменение частоты первого резонанса, так как изменяется полоса пропускания привода, что требует изменения настроек системы управления электропривода [3, 4].

Наличие упругости в объекте управления оказывает существенное влияние на работу системы управления и заставляет отходить от стандартных настроек жестких систем. Возможным решением является применение корректирующего устройства, которое действует на основании восстановленных данных.

Передаточные функции системы с распределенными параметрами обладают ярко выраженными резонансными свойствами, практически исключающими возможность расширения полосы пропускания разомкнутой системы за частоту первого резонанса при нерезонансном регуляторе [5].

Построение замкнутой системы управления электропривода системы с распределенными параметрами, механическая часть которых обладает, в основном, пространственно протяженными размерами, возможно при использовании корректирующего устройства, действующего на основании восстановления данных [6].

Использование в системе дополнительной обратной связи, снимаемой в точке x , дает принципиальную возможность построения системы с расширенной полосой пропускания. На рис.1 представлена структурная схема предлагаемого способа.

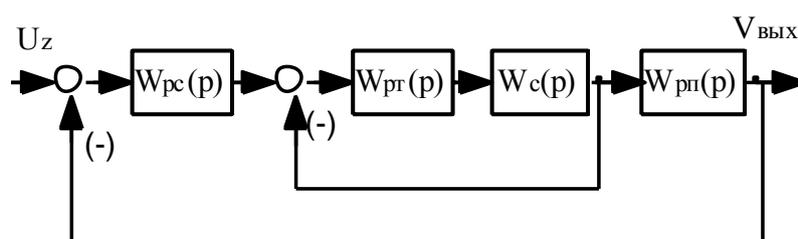


Рис. 1. Структурная схема системы с расширенной полосой пропускания: U_z – сигнал задания (задающее воздействие); $W_{pc}(p)$ – регулятор скорости; $W_{pr}(p)$ – регулятор тока; $W_c(p)$ – часть ЭП с постоянными параметрами; $W_{rp}(p)$ – механическая часть ЭП с распределенными параметрами

Непосредственное измерение скорости рабочей массы (груза) в системе с распределенными параметрами затруднительно, так как механическая часть обладает, в основном, пространственно протяженными размерами.

Это возможно при применении корректирующего устройства, действующего на основании восстановления данных.

Характеристическое уравнение движущего усилия к скорости перемещения для любого сечения известно:

$$W_{xx}(x, p) = 2 \cdot a \cdot (\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \tilde{p}^2 \cdot [ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x})] + (\mu_1 + \mu_2) \cdot \tilde{p} \cdot sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p}) + sh^2(\tilde{p})),$$

где x – текущее расстояние между центром массы 1 и грузом, м; L – расстояние между центрами масс, м; $\tilde{x} = 1 - \frac{x}{L}$ – относительная координата выходной точки; $\mu_i = M_i/M_k$ – i -ая относительная масса; a – скорость волны распространения колебаний, м/с; $\tilde{p} = p \frac{L}{a}$ – нормированный оператор Лапласа.

Передаточная функция движущего усилия к скорости перемещения для произвольного сечения [7]:

$$W(x, p) = \frac{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p})}{W_{xx}(x, p)}.$$

Передаточная функция движущего усилия к скорости вала двигателя:

$$W_1(x, p) = \frac{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p})}{W_{xx}(x, p)} + \frac{\mu_2 \cdot \tilde{p} \cdot (ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x}))}{W_{xx}(x, p)}$$

На основании приведенных передаточных функций, описывающих состояние системы с распределенными параметрами кольцевого типа в различных точках можно определить функцию, позволяющую преобразовать один сигнал в другой – корректирующего устройства [8].

Отношение передаточных функций:

$$W_{ку}(x, p) = \frac{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p})}{\mu_2 \cdot \tilde{p} \cdot [(ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x})) + sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p})]}$$

В результате преобразования передаточная функция приведена к более простой и удобной форме:

$$W_{ку}(x, p) = \frac{sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p})}{sh(\tilde{p}) \cdot ch(\tilde{p}) + \mu_2 \cdot \tilde{p} \cdot (ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x}))}.$$

Графическое представление корректирующего устройства представлено на рис. 2.

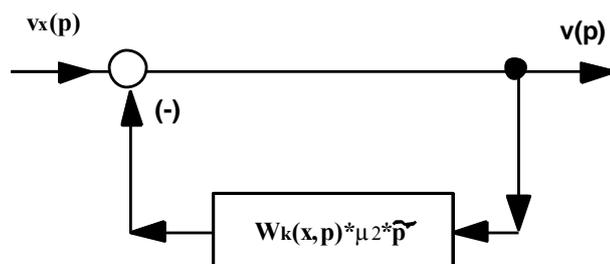


Рис. 2. Графическое представление корректирующего устройства: $v_x(p)$ – скорость перемещения для произвольного сечения; $v(p)$ – скорость вала двигателя; $W_k(x,p)$ – вспомогательная передаточная функция; μ_2 – относительная масса груза; \tilde{p} – нормированный оператор Лапласа

При этом передаточная функция $W_k(x,p)$, которая является более простой и удобной для исследования и моделирования, имеет вид:

$$W_k(x,p) = \frac{ch^2(\tilde{p}) - ch^2(\tilde{p} \cdot \tilde{x})}{ch(\tilde{p} \cdot \tilde{x}) \cdot sh(\tilde{p})},$$

Аппроксимация передаточной функции позволяет учитывать изменение резонансных свойств системы с распределенными параметрами 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.

Для исследования электромеханических характеристик системы с распределенными параметрами разработан экспериментальный стенд со следующими параметрами: $\mu_1 = 0,87$, $\mu_2 = 0,46$, $a = 23,5$ м/с, $L_{max} = 7$ м.

К таким системам могут быть отнесены электроприводы подачи платформы крупногабаритных армирующих манипуляторов, приводы шахтных подъемников, лифтов и других подъемных механизмов, транспортеров и т. д. Количество масс, сосредоточенных на системы с распределенными параметрами, может колебаться от 1–2 до 10 и более.

На рис 3. тонкой линией представлена логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ) системы с распределенными параметрами



рами без дополнительного контура по пространственной координате, а сплошной – ЛАЧХ системы с распределенными параметрами с дополнительным контуром по пространственной координате, полученные для экспериментального стенда.

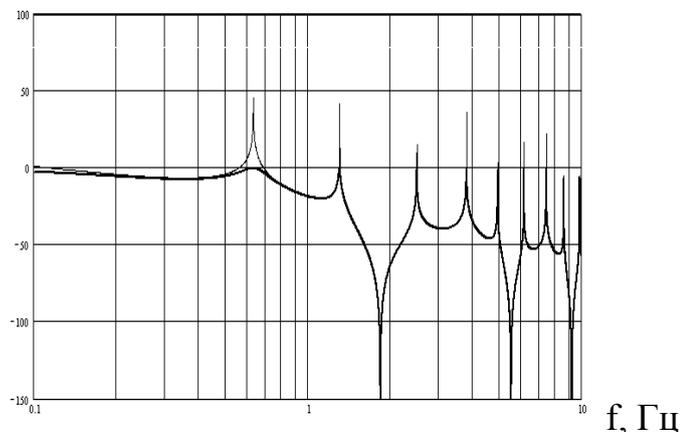


Рис. 3. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика системы с распределенными параметрами

В исследуемой системе с распределенными параметрами без дополнительного контура по пространственной координате первый резонанс расположен на частоте 0,63 Гц, в системе с распределенными параметрами с дополнительным контуром по пространственной координате – 1,31 Гц.

Т.е. полоса пропускания системы расширена более чем в 2 раза. Фактически это означает, что при введении дополнительного контура, первый резонанс (наиболее опасный) сглаживается. Это приводит к тому, что резонансы на более высоких частотах влияют гораздо меньше из-за меньшего коэффициента усиления. Использование резонансного регулятора скорости является более сложным, так как резонансные частоты при функционировании изменяются, что потребует усложнения резонансного регулятора скорости.

Для расчета резонансных частот в системе с распределенными параметрами при изменении массы и положения груза может использоваться программа [9].

Методика синтеза системы управления электромеханической системы с распределенными параметрами заключается в следующем:

1) определяем необходимые параметры корректирующего устройства скорости (расстояние между центром массы 1 и грузом, расстояние между центрами масс системы с распределенными параметрами, относительную координату выходной точки (груза), относительную массу груза, скорость волны распространения колебаний, нормированный оператор Лапласа);

2) в описанном выше порядке реализуем корректирующее устройство перемещающегося груза;

3) используя полученное корректирующее устройство, реализуем дополнительный контур по скорости, который расширяет полосу пропускания системы более чем в 2 раза и устраняет первый (наиболее опасный) резонанс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Рассудов, Л. Н.** Электроприводы с распределёнными параметрами электромеханических элементов / Л. Н. Рассудов, В. Н. Мядзель. – Л. : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 144 с.

2. **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 : межвузов. сб. – Л. : СЗПИ, 1986. – С. 19–29.

3. Автоматизированный электропривод – современная основа автоматизации технологических процессов / М. П. Белов [и др.] // Электротехника. – 2003. – № 5. – С. 12–16.

4. **Бутковский, А. Г.** Методы управления системами с распределёнными параметрами / А. Г. Бутковский. – М. : Наука, 1975. – 230 с.

5. **Кузовков, Н. Т.** Модальное управление и наблюдающие устройства / Н. Т. Кузовков. – М. : Машиностроение, 1976. – 184 с.

6. **Толочко, О. І.** Анализ та синтез електромеханічних систем зі спостерігачами стану / О. І. Толочко. – Донецьк : Норд-Пресс, 2004. – 298 с.

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.

8. **Корнеев, А. П.** Метод косвенного вычисления скорости в системах с распределёнными параметрами / А. П. Корнеев, В. Н. Ситников // Вестн. МГТУ. – 2006. – № 2. – С. 93–98

9. Программа «Расчет распределения резонансных частот при различном положении и различной массе груза» / П. П. Корнеев, Г. С. Леневский ; зарегистрирована в Нац. центре интел. собствен. РБ. – заявка С20150095 от 02.10.15, свид. № 827.