

А.П. Корнеев

(Республика Беларусь, г. Могилев, Белорусско-Российский университет)

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ
С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ
В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ**

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE SYSTEM
WITH DISTRIBUTED PARAMETERS IN THE FREQUENCY DOMAIN

Представлено экспериментальное исследование системы с распределенными параметрами в частотной области. Приведено описание программно-аппаратного комплекса и комплекта измерительных устройств экспериментального стенда. Максимальная относительная погрешность экспериментальных значений относительно теоретических расчетов не превысила 10%.

An experimental study of a system with distributed parameters in the frequency domain is presented. A description of the software-hardware complex and a set of measuring devices of the experimental stand is given. The maximum relative error of the experimental values relative to theoretical calculations did not exceed 10%.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, система с распределенными параметрами, программно-аппаратный комплекс.

Keywords: experimental research, distributed parameter system, hardware and software complex.

Многочисленные объекты различных областей техники представляют собой системы с распределенными параметрами (СРП). К ним относятся длинные линии электропередач, трубопроводы для перекачки воды и нефти, объекты, включающие длинные стержни (как, например, в бурении — колонна труб, в глубинно-насосных установках — штанга, в подъемных механизмах — трос и канат) и т. д. Недостаточно точное математическое описание такого оборудования приводит к большим погрешностям при анализе и синтезе систем управления, к уменьшению точности их работы, а в наиболее неблагоприятных случаях — к потере устойчивости электропривода и возникновению незатухающих колебаний, а в наиболее неблагоприятных случаях к разрушению установки [1, 2].

Для исследования электромеханических характеристик СРП экспериментальный стенд снабжен комплектом измерительных устройств. Система измерения обеспечивает измерение и сохранение данных:

- напряжений в диапазоне от -400В до +400В с точностью не менее 0.1%;
- тока якоря двигателя в диапазоне от -10А до +10А с точностью не менее 0.1%;
- напряжения, снимаемого с тахогенератора в диапазоне от 0В до +2,5В.

Для упрощения дальнейшей обработки полученной информации существует связь системы измерения с персональным компьютером и возможность сохранения получаемых данных.

Для получения заданной точности измерения в цифровой системе сбора данных необходимо наличие в ней аналогово-цифровых преобразователей с количеством цифровых разрядов не менее 10.

Частота дискретизации в соответствии с дискретной теоремой Найквиста должна быть не менее чем в два раза больше частоты самого быстро изменяющегося сигнала – (отношение частоты дискретизации к частоте среза системы для возможности воспроизведения сигнал должно быть не менее двух) [3]. Так как частота питающего напряжения, а соответственно и тока равна 50 Гц, частота дискретизации должна быть не менее 100 Гц.

Для получения информации о токе двигателя используется программно-аппаратный комплекс. Аппаратная часть представлена сенсорным модулем, который может использоваться для измерения высоковольтных аналоговых сигналов, а также для мониторинга процессов в силовых электрических цепях. Устройство имеет четыре гальванически развязанных аналоговых входа для измерения высоковольтного напряжения (диапазон входных напряжений от +600 В до -600 В), а также один аналоговый вход для измерения низковольтных напряжений, снимаемых с шунта (диапазон входных напряжений на измерительном шунте от +150 мВ до -150 мВ). Разрядность аналогово-цифровых преобразователей по всем каналам равна 12. Элементом, ведущим обработку информации в составе модуля, является микроконтроллер Fujitsu MB90F543. Для разработки управляющих программ используется среда программирования Softune Workbench for FR-microcontroller. Программирование контроллера осуществляется при помощи комплекта программ StrimShell - StrimServer ОДО «СТРИМ». Разработанная управляющая программа позволяет производить измерения по четырем каналам напряжения с частотой до 4 кГц. Данные преобразования формируются CAN-фреймом, которые в последствии передается по CAN-шине. Далее они преобразуются CAN-USB конвертером и перенаправляются в персональный компьютер, где в последующем может производиться их дальнейшая обработка.

Программная часть комплекса основана на комплекте программ StrimServer и CANMonitor, позволяющих фиксировать и сохранять информацию, полученную от сенсорного модуля в режиме реального времени.

Экспериментальные исследования проводились на стенде, описанном в [4]. Полученные данные сводим в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Экспериментальные значения ЛАЧХ СРП

Частота круговая, рад/с	0,1	0,3	0,5	0,6	0,65	0,7
Коэффициент усиления, dB	1	-6,1	-3,8	6,3	11,1	-1,5
Частота круговая, рад/с	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5
Коэффициент усиления, dB	-10,6	-18,4	-18,7	10,5	-26,5	-38,3
Частота круговая, рад/с	1,6	1,7	1,8	1,85	1,9	2,0
Коэффициент усиления, dB	-48,5	-60,5	-82,7	-156,6	-81,2	-63,6

На рис. 1 представлены теоретические (тонкой линией) и экспериментальные (толстой линией) ЛАЧХ СРП.

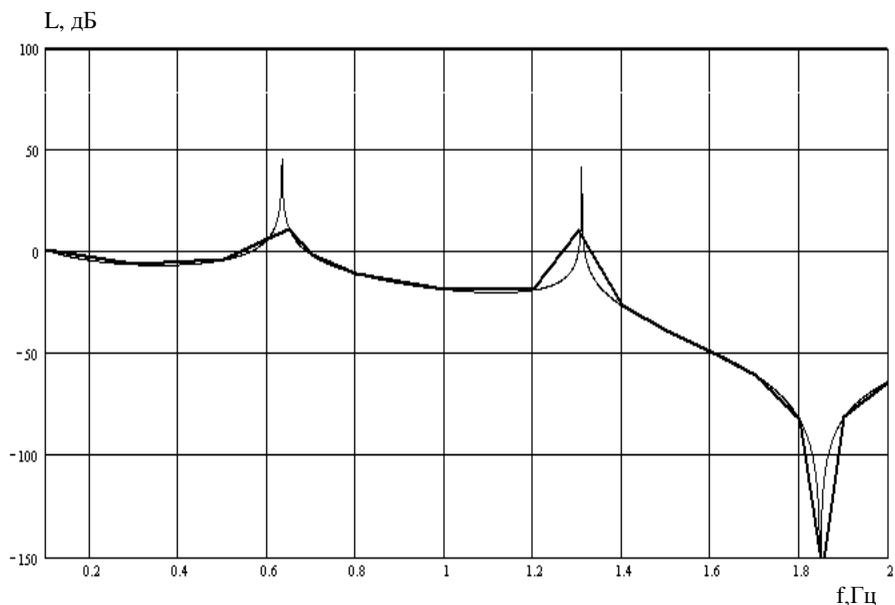


Рис.1. Теоретическая и экспериментальная ЛАЧХ СРП

Далее проводились экспериментальные исследования для проверки разработанной методики синтеза системы управления ЭМС СРП, рассмотренной в [5].

Полученные данные сводим в табл. 2.

Таблица 2. Экспериментальные значения ЛАЧХ СРП

Частота круговая, рад/с	0,1	0,3	0,5	0,6	0,65	0,7
Коэффициент усиления, dB	1	-6,1	-3,8	-0,9	-0,3	-3,8
Частота круговая, рад/с	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5
Коэффициент усиления, dB	-10,6	-18,4	-18,7	10,5	-26,5	-38,3
Частота круговая, рад/с	1,6	1,7	1,8	1,85	1,9	2,0
Коэффициент усиления, dB	-48,5	-60,5	-82,7	-156,6	-81,2	-63,6

На рис.2 представлены теоретические (тонкой линией) и экспериментальные (толстой линией) ЛАЧХ СРП с обратной связью, снимаемой с точки ξ .

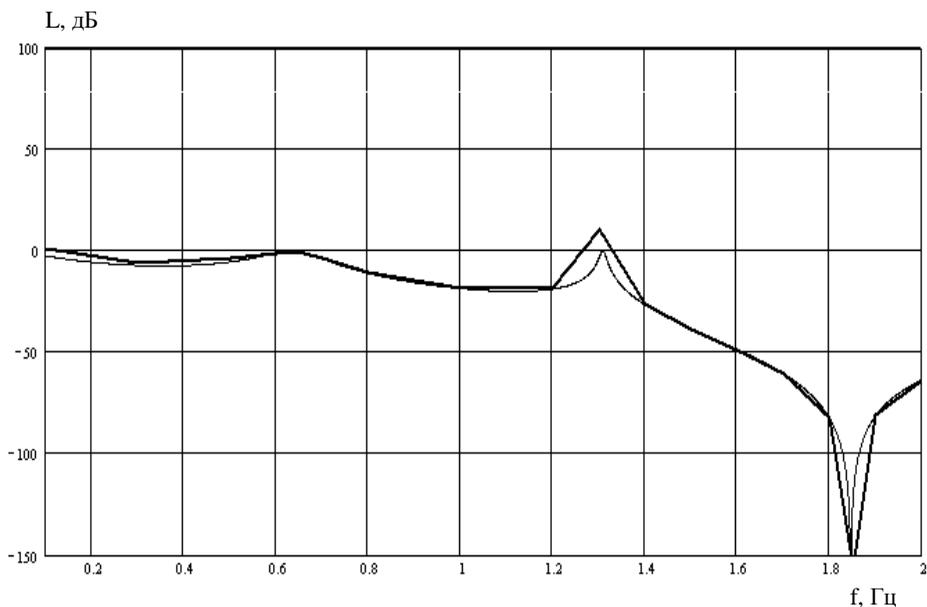


Рис.2 Теоретическая и экспериментальная ЛАЧХ СРП с обратной связью

Как видно из графиков экспериментальные значения подтвердили правильность теоретических расчетов. Максимальная относительная погрешность не превысила 10%.

Список литературы

1. *Киселев, Н.В.* Электроприводы с распределенными параметрами / Н.В. Киселев, В.Н. Мядель, Л.Н. Рассудов. – Л.: Судостроение, 1985. – 220 с.
2. *Рассудов, Л.Н.* Расчет электроприводов с распределенными параметрами с помощью цепных дробей / Л.Н. Рассудов, В.Н. Мядель // Системы управления технологическими процессами: Кн.– Новочеркасск, 1981.– С. 108-116.
3. *Анхимюк, В.Л.* Теория автоматического управления / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко, Н.Н. Михеев. – Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.
4. *Karneyev, A.P.* Development of a stand for research of systems with the distributed parameters / A.P. Karneyev, G.S. Lenevsky // Journal of the Technical University of Gabrovo, Vol. 41' 2011 (32-35).
5. *Кабушева, В.В.* Синтез системы управления электромеханической системы с распределенными параметрами/ В.В. Кабушева, А.П. Корнеев, Г.С. Ленеvский // Информационные технологии, энергетика и экономика: Материалы докладов XIII межрегиональной науч.-техн. конф. студентов и аспирантов в 4-х т., Смоленск. 14-15 апреля 2016 г. // филиал «МЭИ (ТУ)». – Смоленск, 2016. – Т.1.– С. 307–310.

Материал поступил в редколлегию 15.09.20.