

А.П. Корнеев, Т.С. Ларькина  
(г. Могилев, Белорусско-Российский университет)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

*Сформированы требования к системе измерения для получения точности измерений. Представлены результаты экспериментального исследования системы с распределенными параметрами в частотной и во временной области.*

*Formed requirements for the measurement system for obtaining precision measurements. The results of an experimental study of a system with distributed parameters in the frequency and time domains are presented.*

*Ключевые слова: система с распределенными параметрами, резонанс, экспериментальное исследование, переходный процесс, гиперболическая тригонометрическая функция.*

*Keywords: distributed parameters system, resonance, experimental research, transient process, hyperbolic trigonometric function.*

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, например в бурении – колонна труб, в глубинно-насосных установках – штанга, в грузоподъемных механизмах – трос и канат и т. д. [1].

Для проектирования, эксплуатации и наладки систем и установок с СРП необходимы экспериментальные исследования. В экспериментальном исследовании СРП выделим исследования в частотной и во временной области.

### **Экспериментальное исследование СРП в частотной области**

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 сигнала должно быть не менее двух) [2]. Так как частота питающего напряжения, а соответственно и тока равна 50Гц, частота дискретизации должна быть не менее 100Гц.

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 впоследствии передаются по CAN-шине. Далее они преобразуются CAN-USB конвертером и перенаправляются в персональный компьютер, где впоследствии 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.

Исследования проводились согласно полученным теоретическим результатам [3, 4]. Данные, полученные в ходе экспериментального исследования, приведены в табл. 1.

*Таблица 1. Экспериментальные значения ЛАЧХ СРП*

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

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

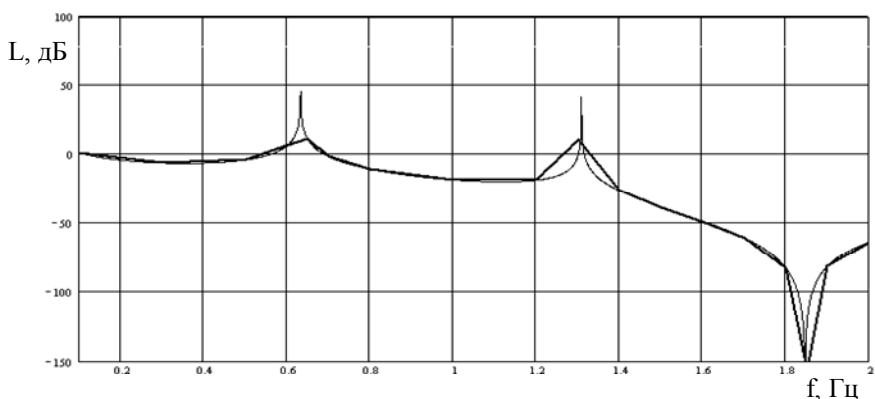


Рис. 1. Теоретическая и экспериментальная ЛАЧХ СРП

Как видно из графиков, полученные экспериментальные значения соответствуют теоретическим расчетам. Максимальная относительная погрешность не превысила 10%.

Экспериментальное исследование СРП во временной области

Экспериментальные исследования проводились согласно теоретическим исследованиям [3, 4].

В результате эксперимента получены следующие графики переходных процессов тока двигателя. Общий вид переходных процессов в СРП рассмотрен в [5]. При частоте  $f=1,5$  Гц, которая меньше резонансной частоты СРП, получен график тока двигателя постоянного тока, представленный на рис. 2.

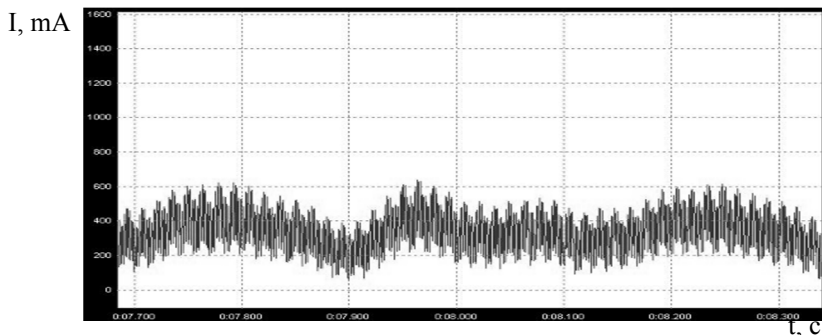


Рис. 2. Ток двигателя при частоте меньше резонансной частоты

При частоте  $f=1,8$  Гц, равной резонансной частоте СРП, получен график тока двигателя постоянного тока, который представлен на рис. 3.

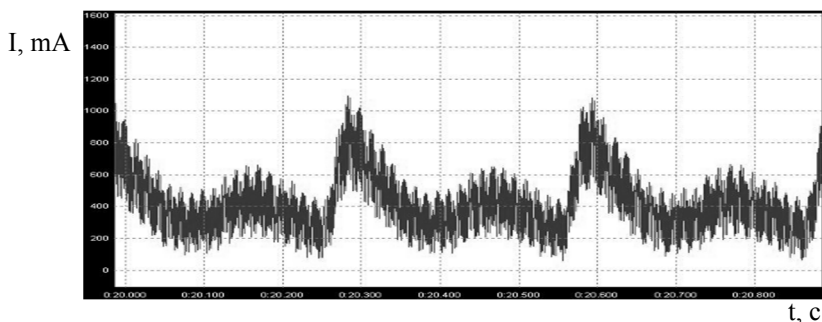


Рис. 3. Ток двигателя при частоте, равной резонансной частоте

## Выводы

1 Проведены экспериментальные исследования системы с распределенными параметрами в частотной и временной области, которые подтверждают теоретические расчеты.

2 Амплитуда графика тока при резонансной частоте увеличивается примерно в 2 раза, как и должно быть при резонансной частоте.

## 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. *Бесекеерский, В.А.* Теория систем автоматического регулирования./ В.А. Бесекеерский, Е. П. Попов. – М.: Наука, 1972.– 450 с.

3. *Корнеев, А.П.* Синтез системы управления электропривода электромеханической системы с распределенными параметрами/ А.П. Корнеев, Г.С. Ленеvский // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Тез. междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, Могилев, 2015. // Бел.-рос. ун-т. – Могилев, 2015. – С. 156.

4. *Корнеев, А.П.* Новый способ аппроксимации механической части нестационарной электромеханической системы с распределенными параметрами/ А.П. Корнеев, Н.А. Стражников, С.И. Шумский, Г.С. Ленеvский // Информационные технологии, энергетика и экономика: материалы докладов XIII Межрегиональной науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: в 4 т., Смоленск. 14-15 апреля 2016 г. // Филиал «МЭИ (ТУ)». – Смоленск, 2016. – Т.1. – С. 289–293.

5. *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 – 2011. – Vol. 41. – P.32-35.

*Материал поступил в редколлегию 01.10.18.*