

АНАЛИЗАТОР ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АЧХИ-102

А.Г. Волович, Г.И. Волович, В.П. Щербаков

FREQUENCY-RESPONSE ANALYZER АЧХИ-102

A.G. Volovich, G.I. Volovich, V.P. Tshcherbakov

Описан отечественный анализатор частотных характеристик АЧХИ-102, позволяющий экспериментально определять амплитудно-фазовые частотные характеристики технических объектов, в том числе автоматизированных электро- и гидроприводов и других систем автоматического управления и их элементов, а также двухполюсников. Управление измерительно-вычислительным блоком, прием данных, вывод результатов на принтер и монитор с возможностью сохранения результатов измерений осуществляется в специализированном программном обеспечении, разработанном специально для указанного анализатора.

Ключевые слова: анализатор частотных характеристик, система управления, программное обеспечение.

The Russian frequency-response analyzer АЧХИ-102 experimentally identifying amplitude phase frequency characteristics of technical objects including automatic electrical and hydraulic drives as well as other automatic control systems and their elements and two-terminal elements is described in the article. Measuring-computing unit control, data recording, printing the results and readings with the possibility of measuring results saving are done in application software, worked out particularly for the analyzer.

Keywords: frequency-response analyzer, control system, software.

В настоящее время в различных отраслях техники широко применяются анализ и синтез систем с помощью логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристик (ЛАФЧХ), которые позволяют определять основные показатели исследуемых систем и их эффективные режимы функционирования. Получение ЛАФЧХ реальных технических объектов осуществляется путем подключения к исследуемым объектам специализированных устройств регистрации сигналов с последующей обработкой и расчетом частотных характеристик (ЧХ). Совокупность измерительно-вычислительного блока (ИВБ) и устройства управления вычислениями образует собой анализатор частотных характеристик.

Проектирование и производство анализаторов в настоящий момент активно осуществляется за рубежом. Однако при рассмотрении эксплуатационных характеристик и функциональных возможностей зарубежных анализаторов выявлены недостатки, обусловленные проектированием этих приборов для решения ранее определенного спектра

задач. Приборы такого типа, например, оптимизированы на исследование объектов в существенно ограниченных частотных диапазонах либо имеют значительные ограничения, накладываемые на входные сигналы объекта.

Учитывая недостатки зарубежных приборов и принимая во внимание их достоинства, создан отечественный анализатор частотных характеристик АЧХИ-102, который позволяет экспериментально определять амплитудно-фазовые частотные характеристики технических объектов, в том числе автоматизированных электро- и гидроприводов и других систем автоматического управления и их элементов, а также двухполюсников.

Прибор оснащен генератором тестовых сигналов с маломощным и мощным выходами, двумя измерительными каналами X и Y , системой управления (СУ) и программным обеспечением для персонального компьютера (ПК) с целью интерактивной работы с прибором. В общем виде блок-схема анализатора при снятии ЧХ объекта изображена на рис. 1.

Волович Александр Георгиевич – зам. директора ООО «Челэнергоприбор»; su@susu.ac.ru

Волович Георгий Иосифович – д-р техн. наук, профессор кафедры систем управления, Южно-Уральский государственный университет; su@susu.ac.ru

Щербаков Василий Петрович – преподаватель кафедры систем управления, Южно-Уральский государственный университет; vs_develop@mail.ru

Volovich Alexander Georgievich – vice director, LLC “ChelEnergoPribor”; su@susu.ac.ru

Volovich Georgiy Iosifovich – Doctor of Science (Engineering), professor of Control Systems Department, South Ural State University; su@susu.ac.ru

Tshcherbakov Vasilii Petrovich – lecturer of Control Systems Department, South Ural State University; vs_develop@mail.ru

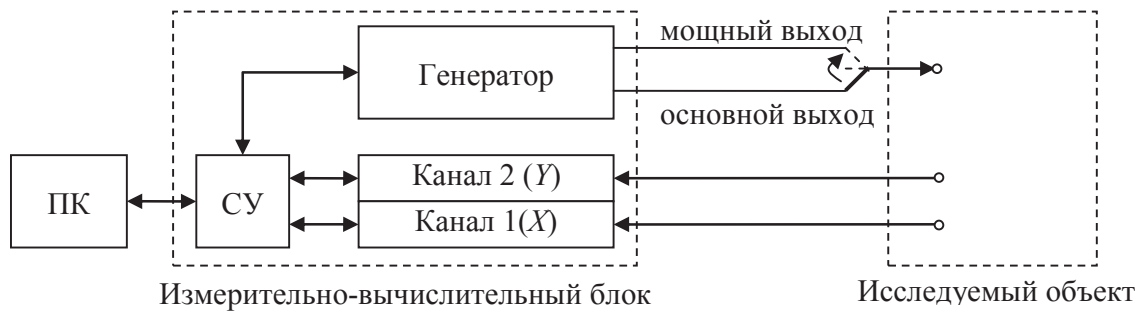


Рис. 1. Блок-схема анализатора АЧХИ-102 при снятии ЧХ в общем виде

Генератор тестовых сигналов построен с применением микроконтроллера и цифроаналогового преобразователя (ЦАП), благодаря которым на основе табличных значений функции синуса с использованием питающего напряжения разного уровня (основной и мощный выходы генератора) реализуется гармонический сигнал для требуемых значений амплитуды, частоты и смещения фазы:

$$U(t) = U_M \sin(\omega t + \psi_U), \quad (1)$$

где ω – частота генерируемого сигнала; U_M , ψ_U – амплитуда и смещение фазы генератора.

Диапазон частот генератора составляет 0,1 мГц – 2 МГц, а максимальные напряжения основного и мощного выхода с учетом постоянного смещения равны соответственно ± 10 и ± 25 В.

Каналы измерения имеют входной делитель 1:10, две ступени десятикратного усиления, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и микроконтроллер, позволяющий регистрировать входной сигнал, преобразовывать его и производить расчет ЧХ. Максимальное напряжение на входе канала составляет ± 30 В, диапазон измерения модуля равен ± 120 дБ, а диапазон измерения разности фаз составляет ± 180 град.

Сигналы $X(t)$ и $Y(t)$ регистрируются каналами в виде набора дискретных значений, каждое из которых соответствует текущей фазе генератора. По полученным выборкам применяются дополнительные преобразования с целью повышения точности определения ЧХ путем получения усредненного периода исследуемых сигналов. Далее путем Фурье-анализа [1] рассчитываются синфазные и квадратурные составляющие сигналов:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} X &= \int_T X(t) \cos(\omega t) dt = \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{X_{j-1} \cos((j-1)\omega\Delta t) + X_j \cos(j\omega\Delta t)}{2} \Delta t, \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Im} X &= \int_T X(t) \sin(\omega t) dt = \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{X_{j-1} \sin((j-1)\omega\Delta t) + X_j \sin(j\omega\Delta t)}{2} \Delta t, \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} Y &= \int_T Y(t) \cos(\omega t) dt = \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{Y_{j-1} \cos((j-1)\omega\Delta t) + Y_j \cos(j\omega\Delta t)}{2} \Delta t, \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \operatorname{Im} Y &= \int_T Y(t) \sin(\omega t) dt = \\ &= \sum_{j=1}^N \frac{Y_{j-1} \sin((j-1)\omega\Delta t) + Y_j \sin(j\omega\Delta t)}{2} \Delta t, \quad (5) \end{aligned}$$

где T – время интегрирования; N – число значений сигналов за время интегрирования; Δt – шаг интегрирования.

Построение логарифмической амплитудно-фазовой частотной характеристики осуществляется по значениям модуля и аргумента для исследуемых частот, которые определяются по следующим выражениям:

$$\begin{aligned} L &= 10 \lg \frac{(\operatorname{Re} Y)^2 + (\operatorname{Im} Y)^2}{(\operatorname{Re} X)^2 + (\operatorname{Im} X)^2}, \\ \psi &= \arctg\left(\frac{\operatorname{Im} Y}{\operatorname{Re} Y}\right) - \arctg\left(\frac{\operatorname{Im} X}{\operatorname{Re} X}\right). \quad (6) \end{aligned}$$

Система управления выполняет связующую роль между прибором и оператором персонального компьютера. В измерительно-вычислительном блоке СУ координирует действия генератора и каналов измерения, передает команды и получает результаты их исполнения. Взаимодействие ИВБ с ПК осуществляется путем передачи информации по USB-кабелю.

Управление ИВБ, прием данных, вывод результатов на принтер и монитор с возможностью сохранения результатов измерений осуществляется в специализированном программном обеспечении (ПО), разработанном для АЧХИ-102.

ПО позволяет проводить снятие ЧХ в ручном и автоматическом режимах. В ручном режиме оператор может настраивать амплитуду и частоту генератора, после установки которых на осциллограмме появляются два периода сигналов, поступающих на входы каналов измерения. Вертикальная ось графика градуируется в процентах от полной шкалы АЦП, а горизонтальная – в значениях текущей фазы сигнала. Для регулировки уровня

сигналов во фрейме анализатора имеется возможность выбора коэффициентов передачи каналов, а также настройки постоянного смещения. После установки необходимых параметров задается длительность измерения в секундах, однако измерение завершится только после окончания текущего периода сигнала генератора.

В автоматическом режиме указывается верхняя и нижняя частоты диапазона, количество экспериментальных точек, время измерения, амплитуда и частота генератора. При снятии ЧХ коэффициенты передачи, постоянные смещения и амплитуда генератора корректируется оптимальным образом с целью минимизации ошибок, возникающих при регистрации входных сигналов каналов измерения.

По окончании каждого измерения выводятся результаты в таблицу и точки на графопостроитель в логарифмическом масштабе, причем экспериментальные точки графиков амплитудной и фазовой ЧХ соединяются плавными кривыми.

Анализатор частотных характеристик АЧХИ-102 благодаря наличию двух измерительных каналов позволяет снимать ЧХ отдельных объектов в замкнутой системе автоматического управления. Например, исследование электрической цепи происходит по схеме, изображенной на рис. 2.

Снятие и построение ЛАФЧХ осуществляется путем использования функций ручного режима (рис. 3) и автоматического режима (рис. 4).

Сравнение полученных результатов с теоретическими осуществляется при помощи расчета ЛАФЧХ RC-цепи в программе MathCAD с последующим выводом теоретических и экспериментальных частотных характеристик на график (рис. 5).

Из сравнения теоретических и экспериментальных ЛАФЧХ следует, что наибольшая абсолютная погрешность полученных амплитудных и фазовых ЧХ прибором не превышает 0,1 дБ и 0,5 град соответственно при измерениях в диапазоне ± 80 дБ.

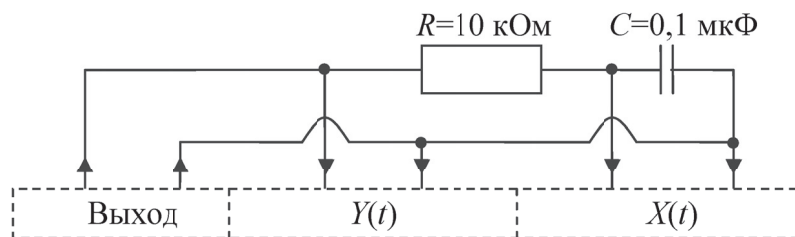


Рис. 2. Схема исследования технического объекта

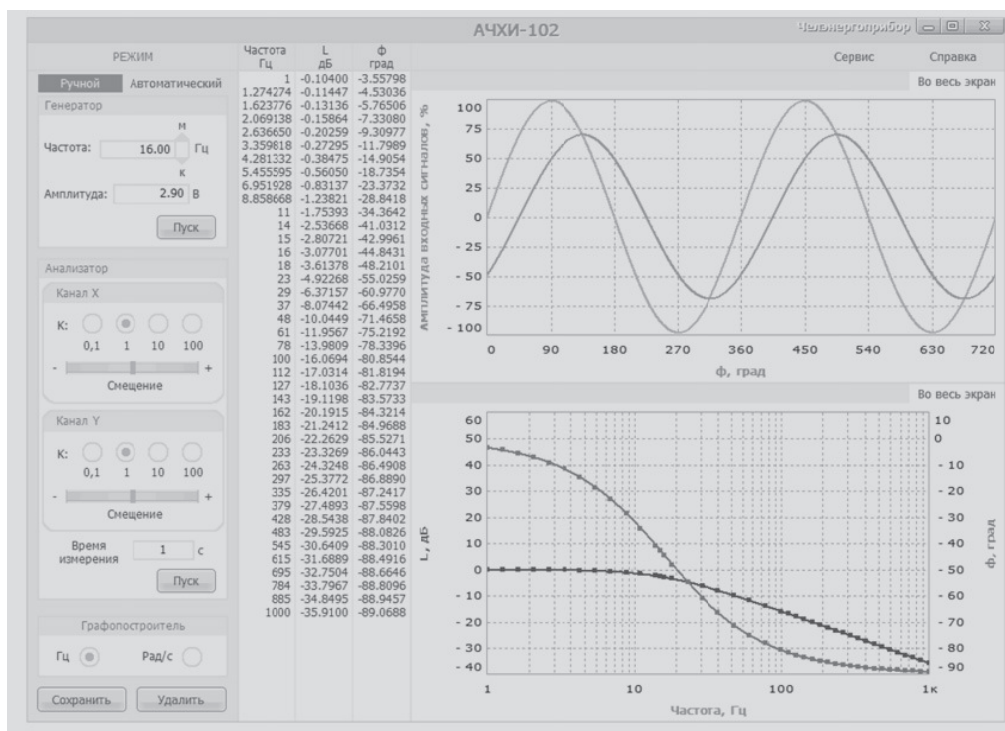


Рис. 3. Диалоговое окно ручного режима

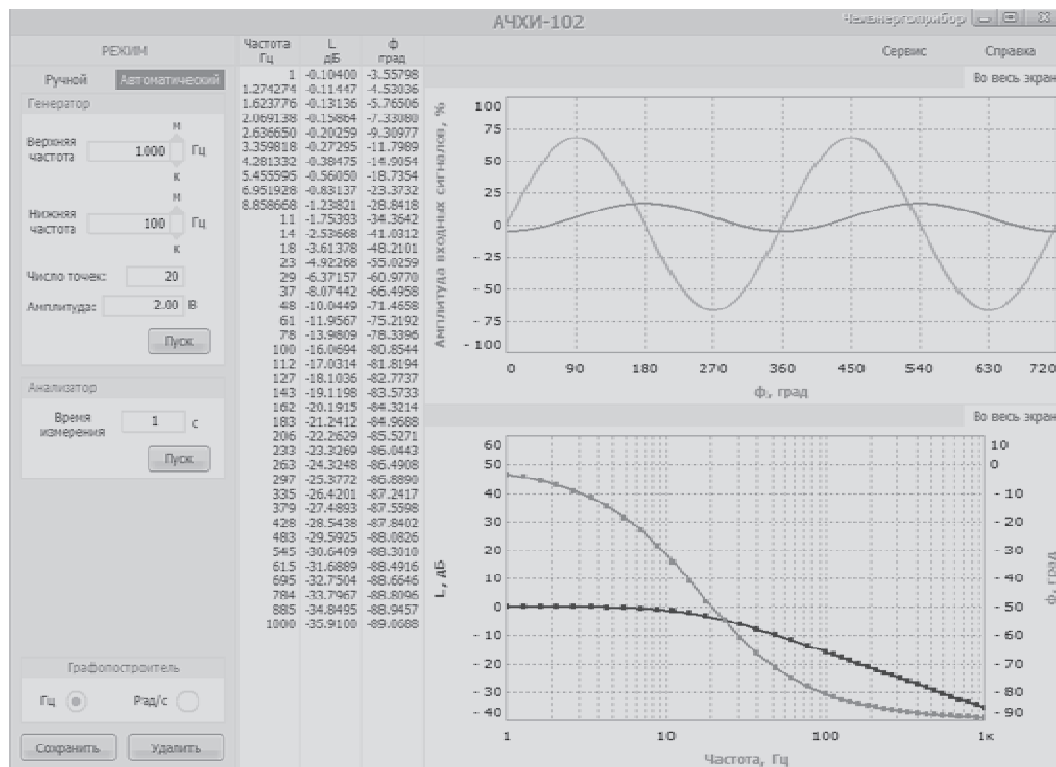


Рис. 4. Диалоговое окно автоматического режима

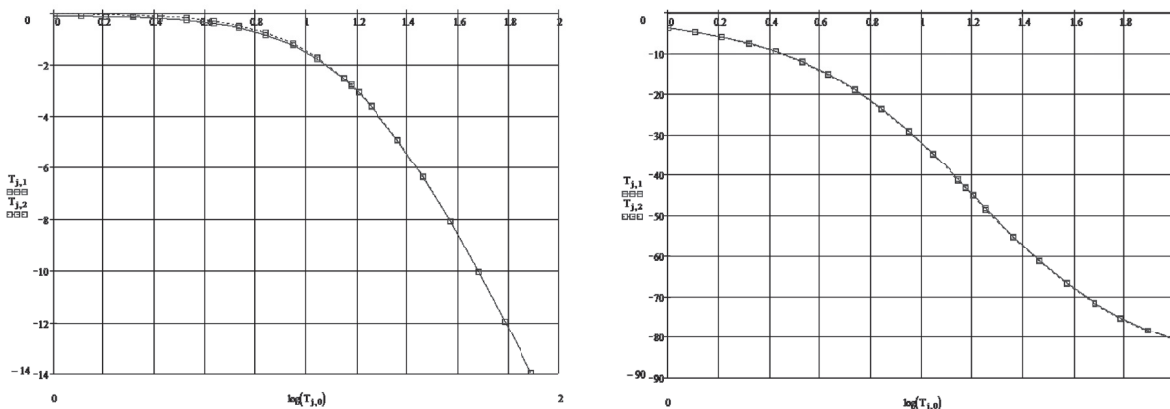


Рис. 5. Теоретические и экспериментальные амплитудные и фазовые ЧХ

Благодаря применению специальных модулей корректирования коэффициентов передачи измерительных каналов регистрация входных сигналов осуществляется качественно, значительно сокращая помехи при дискретизации низковольтных сигналов и увеличивая тем самым динамический диапазон. Наличие генератора, двух измерительных каналов, простого и удобного программного обеспечения с автоматическим режимом и обеспечение широкого диапазона измерений частотных характеристик позволяют

использовать прибор АЧХИ-102 для исследования различных электротехнических объектов, электрических элементов и прочих систем автоматического управления.

Литература

1. Вавилов, А.А. Экспериментальное определение частотных характеристик автоматических систем / А.А. Вавилов, А.И. Солодовников. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 252 с.

Поступила в редакцию 4 июня 2012 г.