

УДК 681.5.015.7

В.С. Литвинова

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИМПУЛЬСНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРИМЕРЕ ПАССИВНЫХ ФИЛЬТРОВ ВТОРОГО ПОРЯДКА

В работе рассмотрены вопросы об особенностях применения идентификации импульсной характеристики типовыми звеньями для контроля параметров пассивных фильтров на примере фильтров второго порядка. Показана эффективность использования указанного подхода в производстве.

Ключевые слова: импульсная характеристика, фильтр второго порядка, входной контроль элементов, комплексное входное сопротивление.

Актуальность применения идентификации импульсной характеристики (ИХ) в производстве. В процессе проектирования радиоэлектронной аппаратуры активно используется компьютерное моделирование. При проектировании акустических систем (АС) важной задачей является расчет электроакустических характеристик (частотной зависимости модуля и фазы комплексного входного сопротивления, коэффициента гармонических искажений, кумулятивного спектра, АЧХ, ФЧХ, динамического диапазона) будущей АС [1]. Перечисленные характеристики существенным образом зависят от конструкции, схемотехники и качества элементов разделительных фильтров, входящих в состав АС [1, 2].

Одним из распространенных способов контроля параметров или исправности готовых фильтров является измерение частотной зависимости модуля комплексного входного сопротивления $z(f)$ АС с подключенными динамическими головками.

Измерительная аппаратура для проведения акустических измерений (например, фирмы "AUDIOMATICA" [3]) позволяет измерить $z(f)$ с приемлемой точностью путем подачи на вход фильтра синусоидального сигнала, частота которого изменяется с шагом, кратным $1/12$ октавы и менее. После отображения $z(f)$ на экране монитора оператор сравнивает вид полученной зависимости с эталоном, оценивая при этом минимальное значение сопротивления и качественное совпадение вида кривых.

Заметим, что в случае многополосных АС происходит проверка сразу всех входящих в состав АС разделительных фильтров, тогда как для повышения качества продукции и усовер-

шенствования производства требуется проверка фильтров по отдельности.

При указанном подходе квалифицированным персоналом на проверку фильтров тратится недопустимо много при серийном производстве АС времени (1–2 минуты). В связи с этим возникает необходимость в снижении времени проверки фильтров и повышении надежности процедуры проверки исправности фильтров, что может быть достигнуто:

1) путем измерения ИХ фильтра – промышленная аппаратура позволяет измерять ИХ за несколько секунд, однако ее анализ на идущем в комплекте с аппаратурой программном обеспечении невозможен;

2) автоматизацией процесса анализа ИХ реального фильтра.

Поэтому возникла необходимость в получении и анализе ИХ реальных разделительных фильтров и разработке алгоритма проверки исправности фильтров на основе идентификации ИХ.

Теоретическая часть. Рассмотрим на примере пассивного фильтра низких частот (ФНЧ) второго порядка (рисунок 1) решение этой задачи.

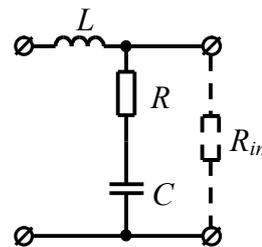


Рисунок 1 – Электрическая схема исправного ФНЧ второго порядка

ФНЧ на рисунке 1 может быть охарактеризован с помощью ИХ. Везде будем считать,

что на схемах клеммы слева – входные, а клеммы справа – выходные. Передаточная функция

$$W_{\text{ФНЧ}}(p) = \frac{\frac{RR_{in}}{L(R+R_{in})} \left(p + \frac{1}{RC} \right)}{\left(p + \frac{L+CRR_{in}}{2LC(R+R_{in})} \right)^2 + \frac{R_{in}}{LC(R+R_{in})} - \left(\frac{L+CRR_{in}}{2LC(R+R_{in})} \right)^2}, \quad (1)$$

что соответствует ПФ типового звена № 5 [4, 5] со следующей ИХ:

$$w_s(t) = \frac{c}{b} e^{-at} [b \cos(bt) + (d-a) \sin(bt)], \quad (2)$$

$$\text{где } a = \frac{L + RR_{in}C}{2LC(R + R_{in})},$$

$$b = \sqrt{\frac{R_{in}}{LC(R + R_{in})} - \left(\frac{L + RR_{in}C}{2LC(R + R_{in})} \right)^2},$$

$$c = \frac{RR_{in}}{L(R + R_{in})}, \quad d = \frac{1}{RC},$$

$R_{in}=100\text{кОм}$ – входное сопротивление измерительной аппаратуры.

Проведенный анализ возможных неисправностей (коротких замыканий и обрывов элементов) показал, что выражения ИХ для неисправных ФНЧ в этих случаях, а значит, и их графики, существенно отличаются от ИХ исправных ФНЧ, определяемых по выражению (1).

Таблица 1

Наименование элемента/коэффициента	Номинальное значение элемента	Допуск, %	Диапазон значений
R , Ом	2	± 10	1,8 ÷ 2,2
L , мкГн	380	± 10	342 ÷ 418
C , мкФ	9,4	± 10	8,46 ÷ 10,34
a	2632	-18 ÷ +22	2154 ÷ 3217
b	16523	-10 ÷ +12	14981 ÷ 18404
c	5263	-18 ÷ +22	4306 ÷ 6433
d	53192	-17 ÷ +23	43960 ÷ 65669

В таблице 1 приведены номиналы и диапазоны значений элементов ФНЧ – резистора, катушки индуктивности, конденсатора, используемых в процессе производства автомобильных двухполосных АС торговой марки “Аркан” в ООО “НПП” Цезий” [6, 7], и вычисленные диапазоны значений коэффициентов a , b , c и d для выражения (2) при указанных в таблице 1 допусках на номиналы элементов фильтра.

Практическая часть. Реализация идеи заключается в следующем: сначала на вход фильтра подается двоичный псевдослучайный

(ПФ) данного фильтра с учетом входного сопротивления измерительной схемы имеет вид:

сигнал, также известный в иностранной литературе как MLS сигнал (последовательность максимальной длины) [3, 8 – 10], затем сигнал с выхода фильтра подается на плату АЦП, встроенную в ЭВМ, обрабатывается имеющейся промышленной программой [3], рассчитанной на контроль параметров АС и динамических головок. Программа формирует файл данных с ИХ тестируемого фильтра.

Далее, по своему виду ИХ идентифицируется, т. е. сравнивается с видом идеальной ИХ, рассчитанной по схеме конкретного фильтра (путем наложения графиков на экране монитора). По измеренной ИХ автоматически оцениваются ее параметры и то, попадают ли их значения в заданный диапазон, соответствующий допускам на номинал используемых компонентов (катушек индуктивности, конденсаторов, резисторов).

Если измеренная ИХ по виду отличается от идеальной, тогда ей ставится в соответствие схема неисправного фильтра, все измеренные данные записываются в файл, являющийся электронным паспортом на данный фильтр.

Из таблицы 1 видно, что в наименьшей степени изменяется коэффициент b . При максимально возможных вариациях значений элементов фильтра R , L и C коэффициент b изменяется лишь в пределах -10 ÷ 12 % в отличие от остальных коэффициентов.

Анализ выражения (2) позволил получить соотношения для определения коэффициентов a , b , c и d по экспериментально измеренной ИХ фильтра:

$$\left[\begin{aligned} a &= \frac{\ln\left(\frac{w(t_{1\max})}{w(t_{2\max})}\right)}{t_{2\max} - t_{1\max}}, \\ b &= \frac{2\pi}{t_{2\max} - t_{1\max}}, \\ c &= w(0), \\ d &= 2 \frac{\ln\left(\frac{w(t_{1\max})}{w(t_{2\max})}\right)}{t_{2\max} - t_{1\max}} + \frac{w'(0)}{w(0)}; \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где t_{1max} и t_{2max} – время, соответствующее первому и второму максимальному значению функции $w(t)$ соответственно.

Экспериментальная ИХ представляет собой дискретную функцию, поэтому производная функции $w(t)$ может быть вычислена через приращения $\frac{w_1 - w_0}{t_1 - t_0}$, где $t_1 - t_0$ – шаг по времени.

Кроме этого, для определения коэффициентов можно использовать метод наименьших квадратов (МНК) [11].

На рисунке 2 представлены график теоретической ИХ идеального ФНЧ, точками показана экспериментальная ИХ реального фильтра, полученная с помощью измерительной аппаратуры параметров АС «СЛИУ» [3]. Как видно из рисунка, экспериментальные значения хорошо “ложатся” на теоретическую кривую, рассчитанную при номинальных значениях элементов фильтра: $L = 380$ мкГн, $C = 9,4$ мкФ, $R = 2$ Ом, $R_m = 100$ кОм.

Из экспериментальной ИХ по выражению (3) и МНК были рассчитаны коэффициенты a , b , c и d (таблица 2). Значения коэффициентов находятся в допустимых пределах, что указывает на исправность фильтра и использование качественных элементов.

Таблица 2

Коэффициент	Экспериментальное значение по (3)	Экспериментальное значение, полученное МНК	Диапазон допустимых значений
a	2958	2899,7	2154 ÷ 3217
b	16085	15840,6	14981 ÷ 18404
c	5698	5985,5	4306 ÷ 6433
d	65128	60061,7	43960 ÷ 65669

Разработан и апробирован алгоритм для проверки оператором фильтра из партии однотипных фильтров, имеющих оригинальные номера. Оператор при проверке выполняет следующие действия:

- 1) включение измерительной установки на базе ЭВМ;
- 2) ввод в программу серийного номера первого проверяемого фильтра;
- 3) подключение фильтра к измерительной схеме;
- 4) установка режимов измерения;
- 5) измерение ИХ фильтра;
- 6) автоматическое сохранение серийного номера фильтра и измеренной ИХ в файл данных;
- 7) идентификация ИХ: проверка, совпадает ли качественный вид измеренной ИХ с идеальной или нет; на экране монитора компьютера путем наложения двух графиков друг на друга (автоматически);

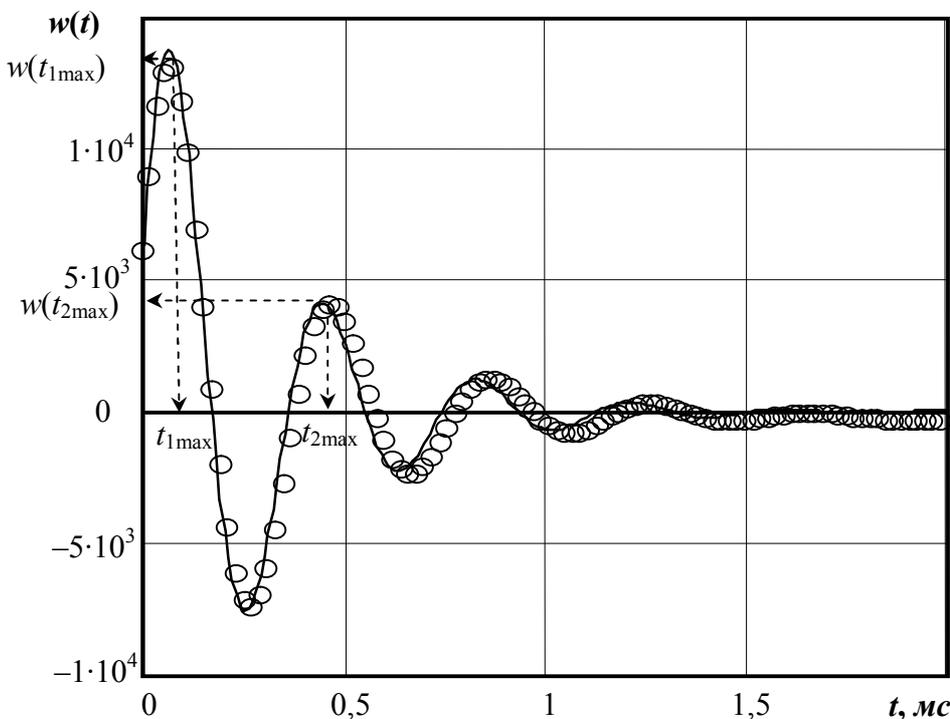


Рисунок 2

8) если вид измеренной ИХ не соответствует идеальной, то оператор помечает фильтр как неисправный (неисправность обусловлена нарушением электрических соединений на плате фильтра, т.е. коротким замыканием в цепях, обрывом и т.д.), результат испытаний фильтра, в том числе и вид неисправности, записывается в файл статистики, и начинается проверка нового фильтра; неисправность определяется путем сопоставления графика измеренной ИХ с графиками ИХ исправного фильтра и определяется неисправность (автоматически);

9) если вид ИХ близок к виду идеальной ИХ, то оператор запускает программу расчета коэффициентов a , b , c и d , характеризующих ИХ и связанных с номинальными значениями элементов фильтра;

10) если величины коэффициентов измеренной ИХ не лежат в заданных пределах, то оператор помечает фильтр как неисправный (неисправность обусловлена отличием номиналов элементов фильтра от заданных в технических условиях), результат испытаний фильтра записывается в файл статистики, и начинается проверка нового фильтра;

11) если величины параметров измеренной ИХ лежат в заданных пределах, то оператор помечает фильтр как исправный, результат испытаний фильтра записывается в файл статистики, и начинается проверка нового фильтра.

Полученные выражения для ИХ реальных фильтров на основе использования типовых звеньев при идентификации линейного динамического объекта могут быть использованы для оптимизации конструкции корпусов бытовых АС и контроля параметров разделительных фильтров автомобильных АС.

Заключение. При применении разработанного алгоритма проверки время тестирования одного фильтра уменьшилось в 5 раз, а также повысились достоверность и надежность входного контроля качества электрических параметров разделительных фильтров для АС по сравнению с имеющимися методиками за счет автома-

тизации процесса анализа ИХ реального фильтра.

Осуществление входного контроля параметров фильтров с помощью ИХ типовых звеньев позволяет получить математическую модель реального разделительного фильтра, которая может быть использована в процессе проектирования и оптимизации конструкции АС и ее электроакустических параметров.

Библиографический список

1. *Алдошина И.А., Войшвилло А.Г.* Высококачественные акустические системы и излучатели. – М.: Радио и связь. 1985. – 168 с.
2. Акустика: справочник / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров; под ред. М.А. Сапожкова. – М.: Радио и связь. 1989. – 336 с.
3. www.audiomatica.com, www.cliowin.com
4. *Кориунов Ю.М., Литвинова В.С.* Идентификация линейного динамического объекта на основе его представления в виде комбинации типовых звеньев // Известия АН. Теория и системы управления. – 2003. – № 5. – С. 5 – 11.
5. *Кориунов Ю. М., Литвинова В. С.* О применении метода типовых звеньев в задаче идентификации линейного динамического объекта // Тез. докл. IV Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'05. Москва, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. – М.: ИПУ РАН, 2005. – С. 245 – 259.
6. *Евтушенко Ю.* Компонентная акустика АРКАН “АС–2003SE” // Автозвук. – № 3. – 2004. – С. 70–71.
7. АРКАН АС–6901 // Car Music. – 2003. – № 50. – С. 56.
8. *J. Vanderkooy.* Aspects of MLS measuring systems // JAES. –1994, V.42, No.4. – PP. 219–231.
9. *D.D. Rife, J. Vanderkooy.* Transfer Function Measurement with Maximum-Length Sequences // J. Audio Eng. Soc. – 1989, V. 37, No.6. – PP. 419–444.
10. *W.D.T. Davies.* Generation and properties of maximum length sequences // Control. – 1966, June, July, August.
11. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика и основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 1022 с.