**Е.Ф. Базлов, Титов М.А.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИТСТИК ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

***Методические*** ***указания*** ***к*** ***лабораторной*** ***работе***

Министерство образования и науки Российской Федерации

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. ТУПОЛЕВА-КАИ»

Е.Ф. БАЗЛОВ, М.А. ТИТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕПЕЙ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

*Методические* *указания* *к* *лабораторной* *работе*

Казань 2017

УДК 621.373(075)

**Базлов Е.Ф., Титов М.А.**

Исследование частотных характеристик цепей первого порядка.

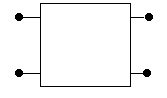
Исследуются частотные характеристики цепей первого порядка на примере RC – и RL - четырехполюсников.

Работа предназначена для студентов очной и заочной форм обучения направлений подготовки 11.03.01 «Радиотехника», 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» и специальностей 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы», 25.05.03 «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» и 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем».

Цель работы − исследование частотных характеристик RC- и RL- цепей первого порядка.

**1** **КРАТКИЕ** **СВЕДЕНИЯ** **ИЗ** **ТЕОРИИ**

Электрические цепи (рис. 1), имеющие два входных (1-1') и два выходных (2− 2') зажима называются четырехполюсниками.



1

1'

2

2'





Рис. 1

К простейшим RC- и RL- четырехполюсникам первого порядка относятся четырехполюсники, содержащие резистор R и емкость C (рис. 2а и 2б) или резистор R и индуктивность L (рис. 3а и 3б)

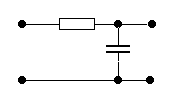
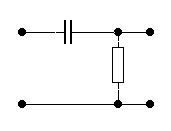


Рис. 2

а)

б)

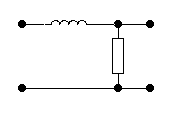
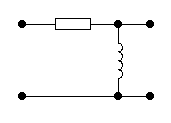


Рис. 3

а)

б)

R

C

C

R

R

L

L

R

Комплексной передаточной функцией по напряжению называется отношение комплексной амплитуды  (или комплексного действующего значения ) выходного напряжения к комплексной амплитуде  (или ) входного напряжения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

В формуле (1)  − модуль комплексной передаточной функции по напряжению, который называется *амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ)*.

 − *фазо-частотная характеристика (ФЧХ)* комплексной передаточной функции. Она равна разности фаз выходного и входного напряжений.

Если выходное напряжение опережает по фазе входное, то фазовый сдвиг является положительным, если же выходное напряжение отстает, фазовый сдвиг − отрицательный.

АЧХ и ФЧХ образуют частотные характеристики цепи. По этим характеристикам оценивают частотные свойства цепи.

Расчет и экспериментальное исследование частотных характеристик проводят в установившемся синусоидальном режиме, который реализуется с помощью гармонического входного сигнала.

Рассматриваемые в работе четырехполюсники можно представить обобщенной комплексной схемой замещения в виде Г-образного четырехполюсника (рис. 4).

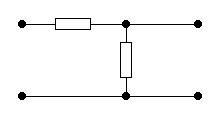














Рис. 4

Для получения формулы передаточной функции надо учесть, что в режиме холостого хода на выходе, через сопротивления  и  протекает один и тот же ток , который по закону Ома равен



Напряжение , приложенное к зажимам 1-1' распределяется в контуре на основании второго закона Кирхгофа между сопротивлениями  и  пропорционально их значениям и току :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Выходное напряжение определяется по закону Ома:

.

Следовательно,

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

Цепи такого типа получили также название делителей напряжения, так как выходное напряжение распределяется (делится) между сопротивлениями  и .

На тех частотах входного гармонического напряжения, при которых <<, модуль функции  близок к единице, т.е. . Если , то . Наконец, если , то  стремится к нулю.

Используя выражение (3) для конкретной схемы, т.е. подставляя значения  и , можно получить выражения  для схем рис.2 и рис. 3.

В таблице 1 приведены выражения АЧХ и ФЧХ RC- и RL- четырехполюсников.

Таблица 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Схемы фильтров нижних частот | Характеристики |
| 1 | R  C | Амплитудно-частотные характеристики    f  K(f)  fгр  0.707 Фазо-частотные характеристики    f  -90°  -45°  fгр  0 |
| 2 | L  R |

Продолжение таблицы 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Схемы фильтров верхних частот | Характеристики |
| 3 | C  R | Амплитудно-частотные характеристики    f  K(f)  0.707  fгр  Фазо-частотные характеристики    f  φk(f)  90°  45°  fгр  0 |
| 4 | R  L |

Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики являются функциями частоты, потому что в схемы четырехполюсников входят реактивные элементы − емкости и индуктивности.

Расчет частотных характеристик всегда проводят в определенном диапазоне частот, который выбирают по выражению АЧХ. Для цепей первого порядка АЧХ  можно представить в виде

,

где  − безразмерный параметр, который зависит от частоты.

Рассмотрим в качестве примера схему 1 из таблицы 1. Для нее

.

Амплитудно-частотная характеристика

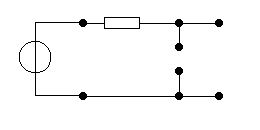


Следовательно, . Наиболее характерные свойства функции  проявляются в диапазоне частот, в котором параметр a меняется в пределах от 0.1 до 10: . Граничные значения параметра a: a1=0.1 и a2=10 позволяют оценить нижнюю  и верхнюю  частоты диапазона, в котором нужно считать и измерять частотные характеристики. Для рассматриваемого примера:

 (4)

Таким образом, частотные характеристики рассматриваемой RC-цепи достаточно исследовать в диапазоне частот , а число точек на оси частот следует брать от 10 до 20.

Частотные характеристики для схемы 1 в таблице 1 можно объяснить следующим образом. На частоте  сопротивление емкости  и ток . Поэтому падение напряжения на сопротивлении  равно нулю: , а выходное напряжение  равно входному напряжению  и , а аргумент . Схема замещения этой RC-цепи для частоты f=0 изображена на рис. 5.





R



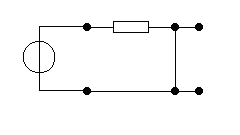


Рис. 5

С ростом частоты сопротивление емкости уменьшается, а резистора − остается постоянным. Ток в цепи будет увеличиваться и падение напряжения на резисторе R тоже будет расти. На основании второго закона Кирхгофа выходное напряжение  при этом будет уменьшаться. Следовательно,  будет меньше единицы. Напряжение на емкости отстает по фазе от тока, протекающего через него. Поэтому выходное напряжение будет отставать по фазе от входного и аргумент передаточной функции будет иметь отрицательное значение.

В пределе, когда частота f будет стремиться к ∞, сопротивление емкости стремиться к нулю и . Схема замещения цепи для этого случая показана на рис. 6.

Так как на частоте f=∞ ток определяется только сопротивлением R (), то фаза тока совпадает с фазой входного сигнала. Напряжение на емкости отстает по фазе от тока на 90°. Поэтому аргумент передаточной функции будет равен (-90°).





R





Рис. 6

Приведенные рассуждения можно применить и к другим цепям, представленным в таблице 1.

Полоса частот, в пределах которой передаточная функция уменьшается от максимального значения  до уровня  , называется *полосой пропускания S.* Частоты, соответствующие границам полосы пропускания, называются граничными частотами  (или частотами среза ). Следовательно, полоса пропускания . В рассматриваемом примере



Если решить уравнение



то можно определить вторую граничную частоту . Тогда полоса пропускания



Значения граничных частот зависят от вида цепи и параметров элементов.

В таблице 1 обозначены полосы пропускания всех приведенных в ней цепей.

**2** **ОПИСАНИЕ** **ЛАБОРАТОРНОГО** **МАКЕТА**

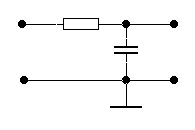
Лабораторная работа выполняется на макете «наборное поле», который подробно описан в лабораторной работе «**ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОСНОВНЫМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ**».

**3.** **ПОРЯДОК** **ВЫПОЛНЕНИЯ** **РАБОТЫ**

**ЗАДАНИЕ 1**. **Экспериментально исследовать передаточные частотные характеристики (АЧХ и ФЧХ) RC-фильтров нижних частот. Оценить влияние параметров элементов цепи на частотные характеристики. Определить полосы пропускания для всех исследованных цепей.**

1.1. Подготовить к работе генератор GFG-8215A, осциллограф GOS-630FC, универсальный вольтметр В7-58/2 и лабораторный стенд: включить питание приборов, генератор установить в режим генерации гармонического напряжения.

1.2. Исследовать частотные характеристики RC-фильтра нижних частот. Для этого собрать цепь в соответствии с рис. 7.



GFG-8215A

В7-58/2

GOS-630FC

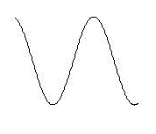
1 канал

2 канал

Рис. 7

R

C



Гармоническое напряжение с выхода генератора подать на вход исследуемой цепи и на вход 1 канала осциллографа. Напряжение с выхода исследуемого фильтра подать на вход 2 канала осциллографа. К выходу генератора подключить также вольтметр.

1.3. Используя формулы (4) из раздела «**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**» рассчитать частотный диапазон, в котором надо исследовать частотные характеристики. Найдя можно определить шаг изменения частоты, считая, что для исследования достаточно взять 10 точек. Установить частоту напряжения генератора примерно соответствующую и его действующее значение U1 , равным 1В. Эта величина входного напряжения является предпочтительной, потому что в этом случае при вычислении значения АЧХ исключается деление выходного напряжения на входное. Значение АЧХ в этом случае численно совпадает с выходным напряжением (если оба напряжения имеют одну и ту же размерность).

1.4. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение 2-3 периодов входного и выходного напряжений.

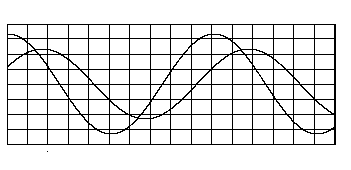
1.5. Измерить амплитуду выходного напряжения Um2. Пересчитать измеренное значение этой амплитуды в действующее значение . Результаты занести в таблицу 3. При измерении амплитуды выходного напряжения можно переключатель «РЕЖИМ» установить в положение «КАН 1». В этом случае на экране будет наблюдаться только выходное напряжение и измерения производить проще.

**ЗАДАНИЕ 2. Измерить сдвиг по фазе  выходного напряжения относительно входного.**

Таблица 3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f (кГц) | U1 (В) | Um2 (В) | U2 (В) | K(f) | Xφ(см) | X(см) | (гр) |
| 0.2 |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

Для этого переключатель «РЕЖИМ» установить в положение «ДВОЙН», чтобы на экране осциллографа наблюдать и входное и выходное напряжение (рис. 8).



Xφ

X

Рис. 8

Входное

Выходное

Измерить в сантиметрах период колебаний X и расстояние между двумя ближайшими максимумами Xφ. Записать эти величины в таблицу 3. Рассчитать по формуле



угол сдвига фаз в градусах. При этом надо иметь в виду, что φK =φ2 – φ1. На рис. 8 выходное напряжение отстает от входного, поэтому угол φK является отрицательным. В противном случае угол надо считать положительным.

1.6. Изменяя частоту входного напряжения и устанавливая переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛЕНИЕ» так, чтобы на экране по-прежнему сохранялось устойчивое изображение 2-3 периодов колебаний, производить измерение амплитуды и фазового сдвига выходного напряжение. Шаг изменения частоты надо выбирать в соответствии с расчетами, выполненными в пункте 1.3.

1.7. Изменить параметры цепи в соответствии с вариантом задания и повторить измерения.

**ЗАДАНИЕ 3.** **Исследовать частотные характеристики фильтра верхних частот.** Для этого поменять местами элементы цепи R и C и исследовать частотные характеристики фильтра верхних частот в соответствии с пунктами 1.1 – 1.7.

По результатам измерений построить зависимости K(f) и φK(f). Обе амплитудно-частотные и характеристики ФНЧ построить на одном графике. Также построить и остальные характеристики. По графикам определить граничные частоты и указать их на графика. Указать полосы пропускания фильтров. Объяснить, почему меняются полосы пропускания и граничные частоты при изменении параметров цепей.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.**

Отчет должен содержать

1) схемы исследуемых цепей;

2) схемы измерения АЧХ и ФЧХ (измерительные приборы, используемые в работе и порядок их подключения);

3) таблицы, содержащие результаты измерений;

4) графики амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик, исследованных цепей;

5) выводы по работе.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

1. Дать определение комплексной амплитуды.

2. Записать комплексную амплитуду гармонического напряжения.

3. По заданной комплексной амплитуде гармонического напряжения, записать формулу мгновенного напряжения.

4. Дать определение комплексной передаточной функции по напряжению.

5. Дать определение амплитудно-частотной характеристики.

6 Дать определение фазо-частотной характеристики.

7. Вывести формулу комплексной передаточной функции по напряжению Г-образного четырехполюсника, АЧХ и ФЧХ.

8. Как измерить АЧХ? Какие измерительные приборы для этого нужны? Как они подключаются к исследуемому четырехполюснику?

9. Как измерить ФЧХ с помощью осциллографа?

10 Как определить знак (+ или \_) сдвига по фазе выходного и входного напряжений?