

Министерство образования и науки РФ
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
Институт права, социального управления
и безопасности
Кафедра информационной безопасности в управлении

ИССЛЕДОВАНИЕ
АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК (АЧХ)
СЕТЕВЫХ ФИЛЬТРОВ

Методические указания к лабораторной работе

Ижевск
2015

Составитель: А.С. Бас

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы «Исследование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) сетевых фильтров». В указания включены обширный теоретический материал по теории фильтров, подробное описание порядка выполнения лабораторной работы, требования к оформлению отчёта и контрольные вопросы.

Методические указания разработаны в соответствии с рабочей программой по дисциплине «Информационная безопасность» для студентов специальности 090900 и в соответствии с «Требованиями государственного образовательного стандарта (ФГОС) по направлению подготовки бакалавров».

Методические указания по выполнению лабораторной работы «Исследование амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) сетевых фильтров»

Теоретическая часть

Электрические фильтры

Электрический фильтр - это устройство, предназначенное для выделения или подавления электрических сигналов заданных полос частот.

По характеру полосы пропускаемых частот фильтры делятся на четыре типа:

1. ФНЧ (фильтр нижних частот) - пропускает сигналы с частотой от 0 до $f_{\text{в}}$.
2. ФВЧ (фильтр верхних частот) - пропускает сигналы с частотой от $f_{\text{н}}$ до бесконечности.
3. ПФ (полосовой фильтр) - пропускает сигналы с частотой от $f_{\text{н}}$ до $f_{\text{в}}$.
4. РФ (режекторный фильтр) - **не пропускает** сигналы заданной полосы частот.

Основные характеристики электрических фильтров - это полоса пропускания и избирательность. Последнее характерно для полосовых фильтров.

Фильтры бывают пассивные, состоящие только из пассивных элементов (резистор, конденсатор, катушка индуктивности), и активные, в состав которых входят усилительные элементы.

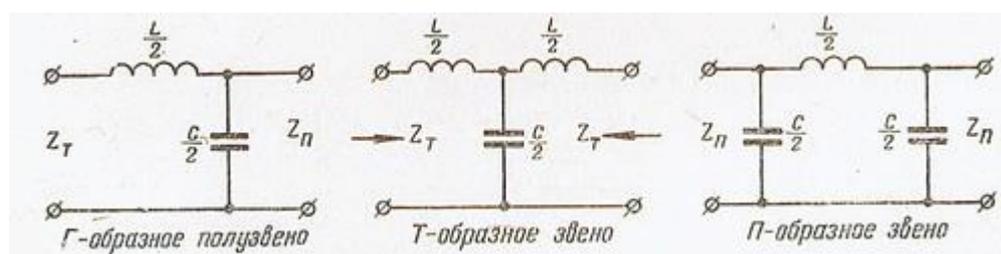
Пассивные фильтры используют только энергию фильтруемого сигнала, активные - дополнительно подведенную энергию.

Любой электрический фильтр состоит из частотно зависимых элементов, то есть из элементов, сопротивление которых зависит от частоты. Такими элементами являются конденсаторы и катушки индуктивности.

В зависимости от величин, входящих в состав фильтра индуктивностей и емкостей, и способа их соединения можно получить фильтры с различной частотной зависимостью общего сопротивления.

В общем виде пассивный фильтр представляет собой четырехполюсник (то есть устройство с двумя входными и двумя выходными зажимами), в состав которого входят реактивные элементы (L и C) в различных вариантах соединения. Однако существуют фильтры, в состав которых входят и активные сопротивления (R).

Схема фильтра может состоять из одного звена или нескольких последовательно соединенных звеньев. Различают Г-образные, Т-образные и П-образные звенья



Реактивные элементы могут включаться в один или оба провода четырехполюсника.

В первом случае фильтр называют несимметричными (Г-образный фильтр), во втором — симметричным (Т-образный и П-образный фильтр).

Качество фильтра может оцениваться по тому, какое ослабление претерпевают в нем электрические сигналы различных частот: для сигналов определённой полосы частот это ослабление должно быть незначительным, а для сигналов всех остальных частот — очень большим. Ослабление сигналов можно оценить по отношению напряжения (тока) на входе фильтра к напряжению на выходе.

В зависимости от того, какое затухание претерпевают в фильтре сигналы различных частот, различают следующие основные типы фильтров:

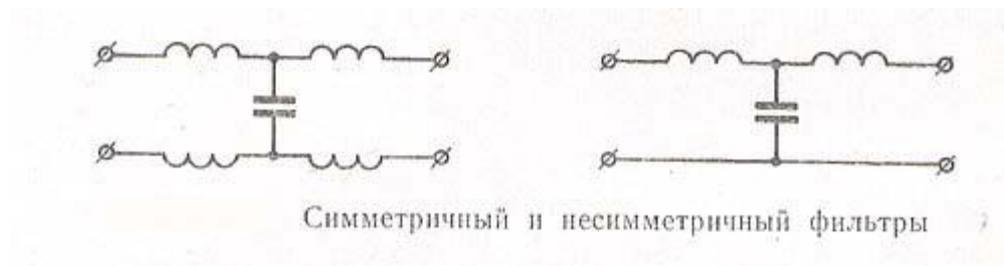
- фильтры нижних частот;
- фильтры верхних частот;
- полосовые фильтры;
- режекторные фильтры.

Фильтры нижних частот

Фильтром нижних частот называется электрический фильтр, обладающий небольшим затуханием на всех частотах ниже некоторой предельной частоты и

очень большим затуханием на всех частотах выше предельной частоты. Таким образом, фильтр нижних частот пропускает, практически не ослабляя, токи всех частот ниже предельной частоты и практически **не пропускает** токи более высоких частот.

На рисунке показана схема однозвенного Т-образного фильтра нижних частот.



Действие фильтра основано на том, что индуктивное сопротивление катушки X_L прямо пропорционально частоте ($X_L = 2\pi fL$), а емкостное сопротивление конденсатора X_C обратно пропорционально частоте ($X_C = 1/2\pi fC$). Чем выше частота тока, тем больше падение напряжения на катушке и больше утечка тока через конденсатор, то есть при увеличении частоты тока затухание фильтра возрастает. График, выражающий зависимость затухания фильтра от частоты тока, называется амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) затухания фильтра.

АЧХ фильтра нижних частот представлена на рисунке.



Полоса частот, которую фильтр пропускает с небольшим затуханием, называется полосой пропускания.

Полоса частот, которую фильтр практически не пропускает (за счет большого затухания), называется полосой затухания.

Например, фильтр нижних частот с предельной частотой 3 кГц пропускает постоянный ток и переменные токи всех частот ниже 3 кГц, а токи всех частот выше 3 кГц не пропускает. Таким образом, он имеет полосу пропускания $0 \div 3 \text{ кГц}$ и полосу затухания $3 \text{ кГц} \div \infty$.

Предельную частоту фильтра иногда называют частотой среза и обозначают f_0 . Частота среза фильтра нижних частот может быть определена по формуле

$$f_0 = \frac{1}{\pi \sqrt{LC}},$$

где f_0 — частота среза, Гц;
 L - индуктивность, Гн;
 C - емкость, фар.

Для улучшения качества фильтра необходимо обеспечить резкое увеличение затухания для всех частот выше предельной. Естественно, что с помощью одного звена фильтра данное требование не может быть обеспечено. Увеличение крутизны частотной характеристики достигается последовательным соединением нескольких звеньев, то есть с помощью многозвенных фильтров.

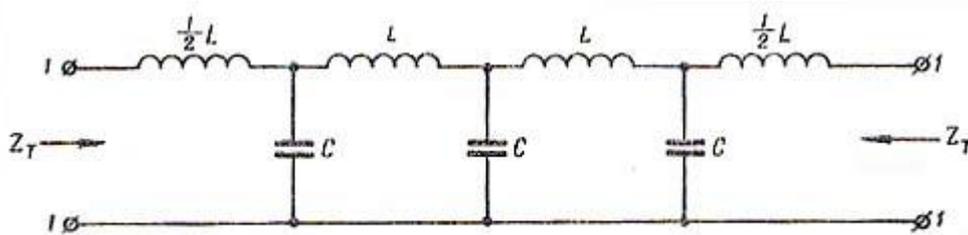
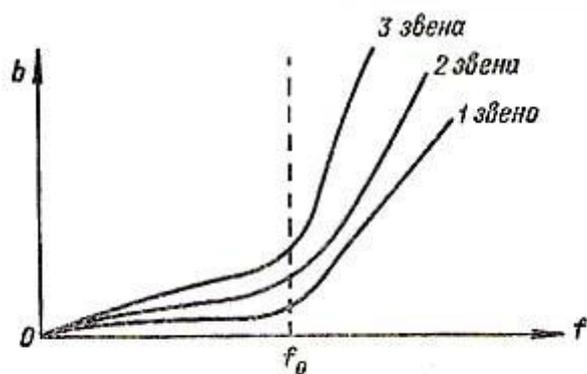


Схема многозвенного фильтра нижних частот



Частотные характеристики однозвенного и многозвенных фильтров нижних частот

Фильтры верхних частот

Фильтром верхних частот называется электрический фильтр, обладающий **небольшим** затуханием на всех частотах выше некоторой предельной частоты и **очень большим** затуханием на всех частотах ниже предельной частоты. Фильтр верхних частот пропускает, практически не ослабляя, токи всех частот выше предельной частоты и практически не пропускает токи более низких частот.

В отличие от схемы фильтра нижних частот в схеме фильтра верхних частот

емкости включены в последовательное плечо, а индуктивность — в параллельное, то есть вместо катушек включены конденсаторы, и наоборот.

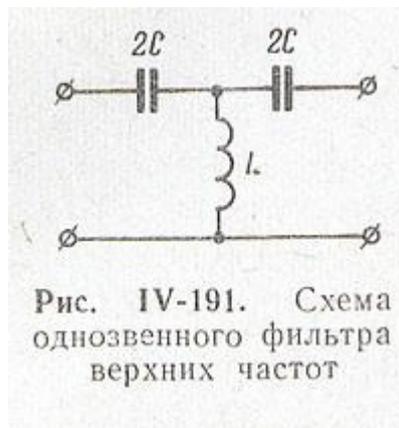
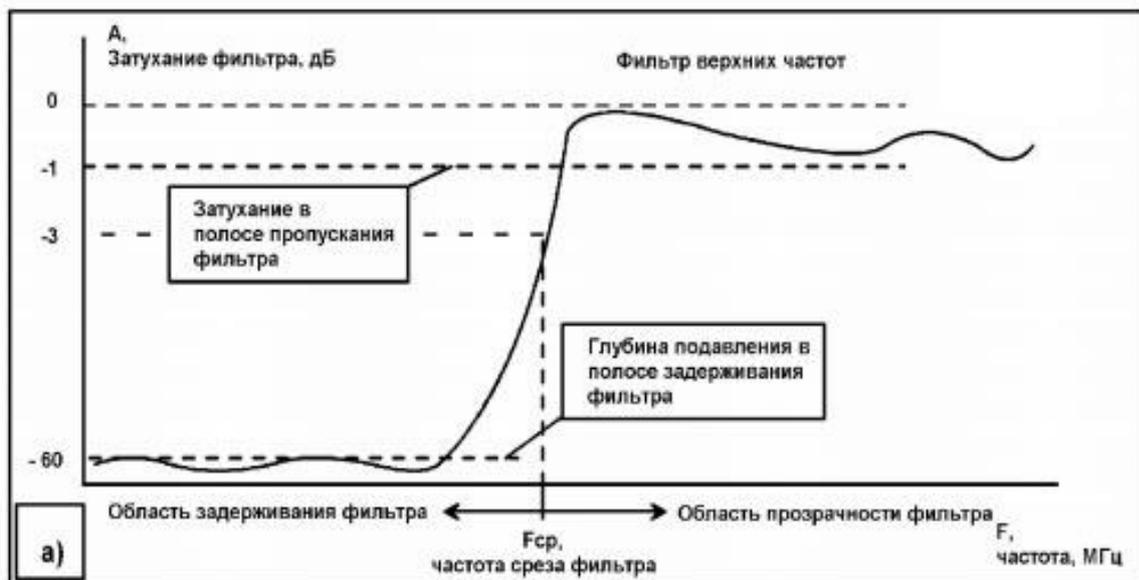


Рис. IV-191. Схема однозвенного фильтра верхних частот



Как видно из схемы, фильтр верхних частот не пропускает постоянный ток, а для токов, частота которых ниже критической, емкостное сопротивление конденсаторов велико, а индуктивное сопротивление катушки мало, следовательно, затухание фильтра велико. При частоте тока выше критической емкостное сопротивление конденсаторов уменьшается, а индуктивное сопротивление катушки возрастает, что приводит к уменьшению затухания фильтра.

Частота среза фильтра может быть определена по формуле аналогично фильтру нижних частот.

Полосовой фильтр

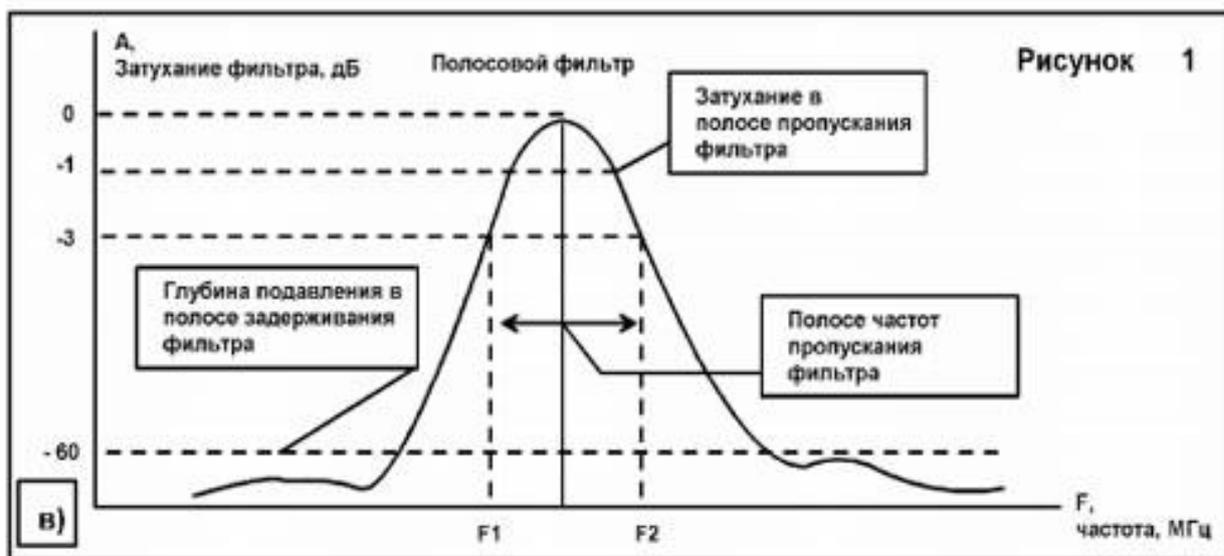
Полосовой фильтр - это частоточувствительная схема, которая пропускает определённый диапазон частот в окрестности центральной резонансной частоты.

Основные характеристики полосового фильтра – полоса пропускания, избирательность и коэффициент прямоугольности.

Границы полос пропускания (f_v , f_n) определяются по частотам, на которых коэффициент усиления уменьшается в 0,707 раз.

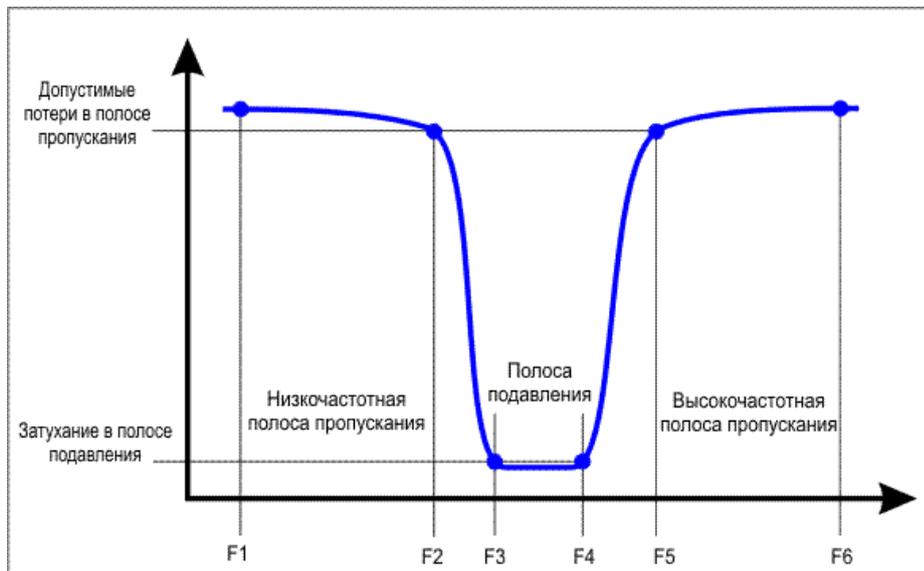
Избирательность - мера, характеризующая способность фильтра разделять две группы колебаний с близкими частотами. Она определяется крутизной спада коэффициента передачи $K(f)$ на переходном участке от полосы пропускания к полосе подавления.

Коэффициент прямоугольности оценивается отношением полосы пропускания на уровне 0,1 к полосе пропускания на уровне 0,7. Чем более пологой является АЧХ радиоприемника, тем шире полоса пропускания на уровне 0,1 по отношению к уровню 0,7 и тем больше величина коэффициента прямоугольности. Коэффициент пропускания позволяет количественно оценить пологий характер амплитудно-частотной характеристики фильтра. Чем ближе коэффициент прямоугольности АЧХ к 1, тем круче ее скаты и тем меньше помех «пролезет» по краям полосы пропускания.



Режекторный фильтр

Режекторный фильтр представляет собой противоположность полосовому фильтру. Он подавляет сигналы определённой полосы частот. Все частоты выше и ниже центральной частоты фильтр пропускает с заданным ослаблением. Режекторный фильтр иногда называют вырезающим фильтром, поскольку этот фильтр используется для вырезания или режекции мешающих сигналов определённой полосы частот.



Практическая часть

Снятие АЧХ сетевых фильтров

Порядок выполнения работы

Цель работы: провести измерения согласно предложенной методике, построить графики АЧХ сетевых фильтров и сделать выводы.

Оборудование: генератор ГЗ-111, осциллограф, сетевые фильтры.

Ход работы:



1. Подключить генератор ГЗ-111 к входу сетевого фильтра.
2. Подключить осциллограф к выходу сетевого фильтра.
3. Изменяя частоту генератора, измерить показания осциллографа в вольтах.
4. Заполнить таблицу и построить АЧХ каждого фильтра.

f (Гц)	Pilot GL (U)	Vector-z (U)	Импульс-4 (U)	Power Cube (U)
50				
100				
500				
1000				
5000				
10000				
20000				
25000				
30000				
40000				
50000				
100000				
500000				
1000000				
1500000				
2000000				

4. Сделать вывод. Определить, какой из фильтров имеет лучшие показатели.

Содержание отчета

Итогом работы является серия измерений, снятых в контрольных точках.

В отчете необходимо привести:

- цель работы;
- схему измерений;
- значения измеренных величин и графики АЧХ, построенные на их основе;
- выводы по выполненным исследованиям.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию электрических фильтров.
2. Что такое полосы прозрачности и затухания?
3. Для чего служат фильтры?
4. АЧХ четырёх типов фильтров.
5. Что такое частота среза фильтра?
6. Схемы П-образных фильтров НЧ (RC и LC).
7. Схемы П-образных фильтров ВЧ (RC и LC).
8. Схемы Т-образных фильтров НЧ (RC и LC).
9. Схемы Т-образных фильтров ВЧ (RC и LC).
10. Формула реактивного сопротивления ёмкости.
11. Формула реактивного сопротивления индуктивности.

Список рекомендуемой литературы

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.,2003.
2. Бычков Ю.А., Золотницкий М.В., Чернышев Э.П. . Основы теории электрических цепей. СПб.,2002.
3. Ушаков П.А. Цепи и сигналы электросвязи. М: Изд. центр «Академия», 2010. 352 с.
4. Основы теории цепей: учебник для вузов /Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. 5-е изд., перераб. М.: Энергоатомиздат, 1989. 528с.
5. Каплянский А. Е. и др. Электрические основы электротехники. 2-е. изд.: учеб. пособие для электротехнических и энергетических специальностей вузов. М.: Высш. шк., 1972. 448с.
6. Интернет-ресурсы.

Дополнение по исследованию сетевых фильтров

Еще немного о сетевых фильтрах

(Бас А.С. // Спецтехника и связь. 2013. № 6.С. 58)

В настоящее время на рынке присутствует огромное разнообразие сетевых фильтров. И каждый из производителей рекламирует свои изделия как устройства, в наивысшей степени обладающие защитными функциями от различного рода помех в электросети и предназначенными для эффективной защиты различной бытовой техники. А так ли это на самом деле? Доказано, что резкие перепады напряжения в сети 220 В, а также грозовые разряды и другие импульсные помехи негативно, а порой и «смертельно», влияют на бытовую технику (весьма дорогую).

Данное исследование направлено на решение одного-единственного вопроса – насколько эффективны сетевые фильтры при решении своих основных задач. Само понятие «фильтр» предполагает, что это устройство должно, в идеале, пропускать к потребителю напряжение 220 В с частотой 50 Гц, а остальной спектр частот «обрезать». В первую очередь были измерены амплитудно-частотные характеристики 14 фильтров. Результаты измерений представлены на рис. 1 – 3.

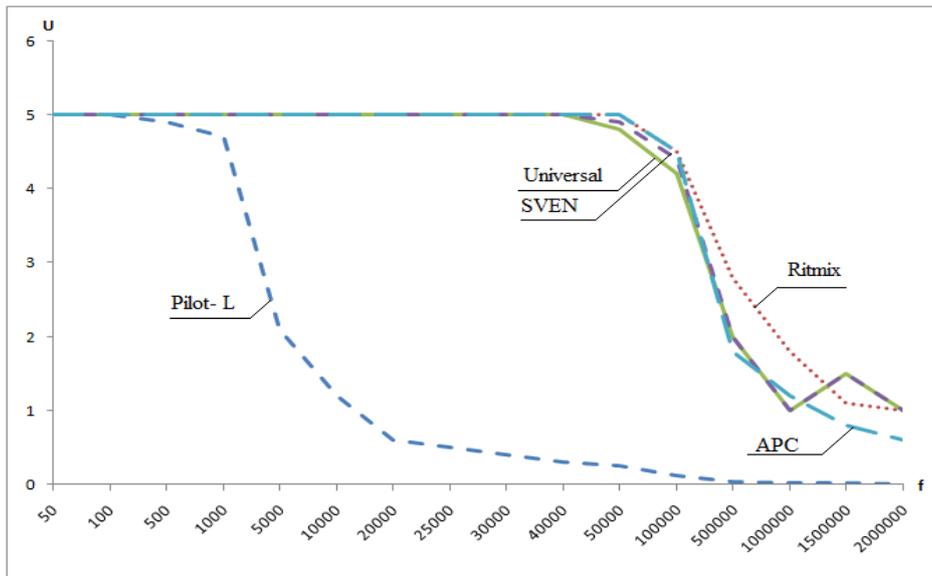


Рис. 1

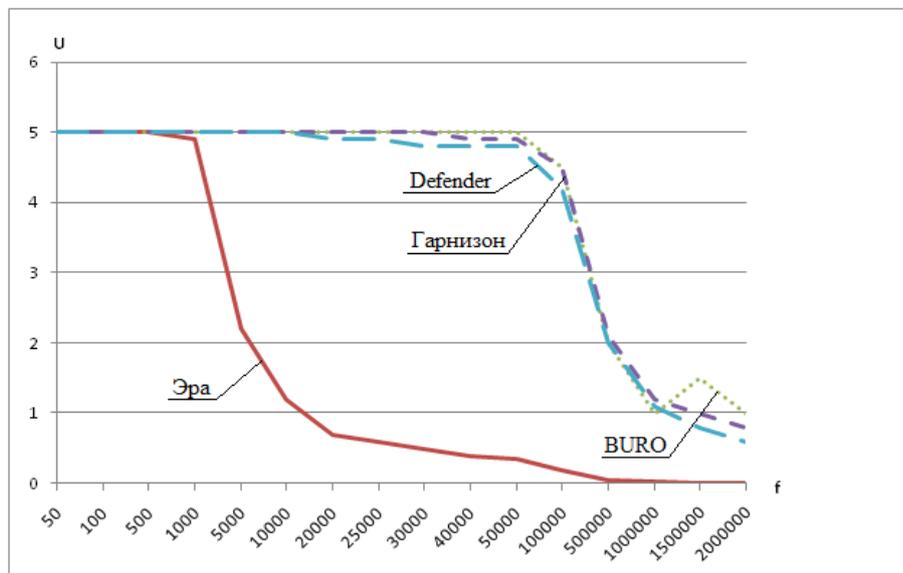


Рис. 2

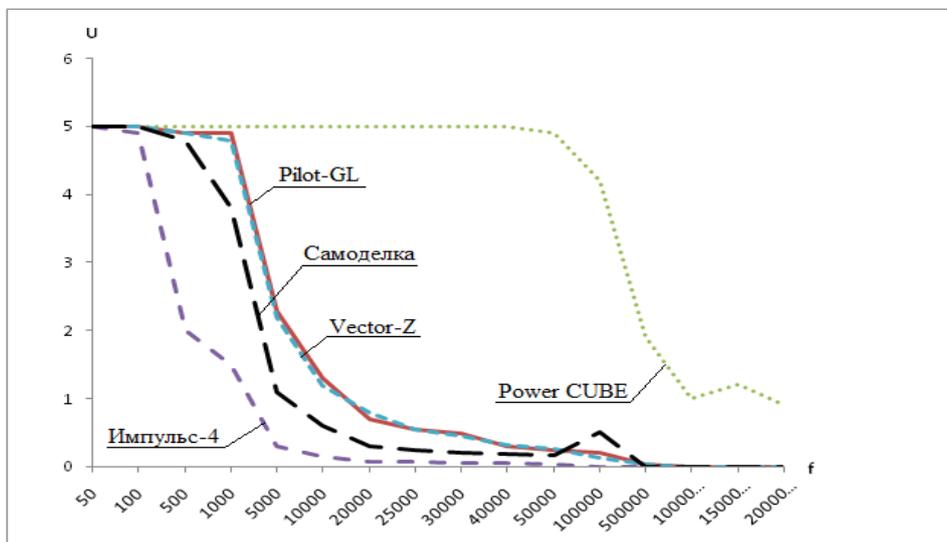


Рис. 3

Из приведенных графиков видно, что наилучшими показателями обладают фильтры отечественного производства ИМПУЛЬС-4, PILOT-GL, ВЕКТОР-Z, ЭРА и самодельный фильтр. Самодельный фильтр был изготовлен в 1995 году и успешно защищает бытовую технику от всевозможных помех (сеть в г. Воткинске Удмуртской Республики далека от идеала).

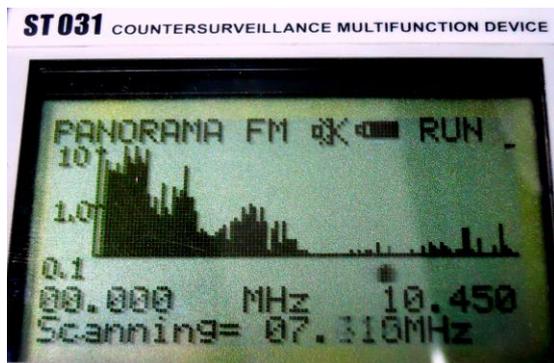
Кроме того, 8 фильтров исследовались с помощью анализатора спектра ST-031 «Пирания». Приведенные спектрограммы наглядно и весьма убедительно подтверждают действительно высокие параметры фильтров ИМПУЛЬС-4, PILOT-GL, ВЕКТОР-Z, ЭРА и самодельного фильтра. В свою очередь фильтры Power Cube, BURO (производства КНР) и, как ни странно, фильтр фирмы APC (производство Ирландии) согласно приведенным спектрограммам таковыми, по сути, не являются.



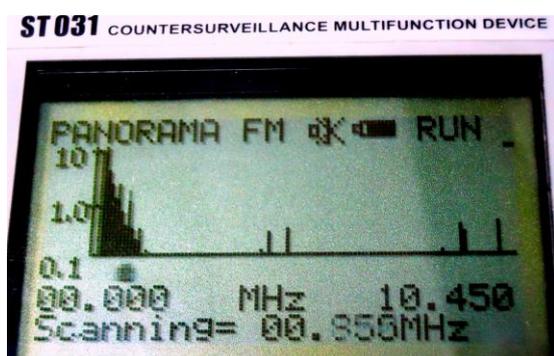
Спектрограмма электрической сети в месте проведения эксперимента



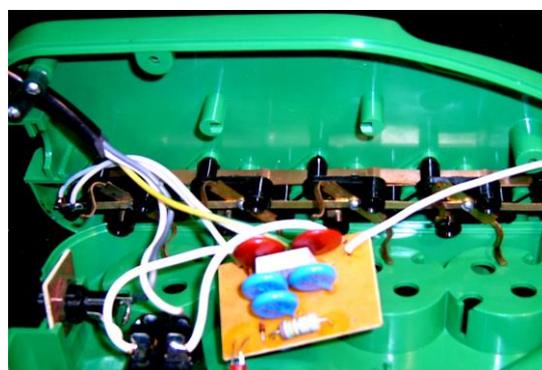
Спектрограмма «фильтра» BURO.(КНР) и его внутреннее устройство (286руб.)



Спектрограмма «фильтра» Power Cube (КНР) и его внутреннее устройство (335 руб.)



Спектрограмма фильтра Pilot-GL (Россия) и его внутреннее устройство (652 руб.)



Спектрограмма фильтра Vektor-Z (Россия) и его внутреннее устройство (350 руб.)



Спектрограмма фильтра Импульс-4 (Белорусия) и его внутреннее устройство (402 руб.)

ST031 COUNTERSURVEILLANCE MULTIFUNCTION DEVICE



Спектрограмма фильтра «Эра» (285 руб.). К великому сожалению, фильтр «Эра» вскрыть не удалось ввиду того, что корпус фильтра был закреплен саморезами под отвертку, имеющую рабочее жало «треугольник» (крайне редкое для наших умельцев).

ST031 COUNTERSURVEILLANCE MULTIFUNCTION DEVICE



Спектрограмма самодельного фильтра и его внутреннее устройство

ST031 COUNTERSURVEILLANCE MULTIFUNCTION DEVICE



Спектрограмма фильтра фирмы APC и его внутреннее устройство (750 руб.)

Даже беглый осмотр внутренних устройств фильтров подтверждает, что большинство «фильтров» производства КНР фильтрами можно считать весьма условно. В лучшем случае в них присутствует варистор, который должен защищать бытовую технику от грозных разрядов и других высоковольтных импульсных помех.

Кроме того, на рынке присутствуют фильтры фирм «MONSTER» и APC, но по показателю цена/качество они заметно уступают отечественным изделиям. Основным их достоинством является защита телефонной сети и ТВ разводки. Вызывает сомнение, что этот параметр является решающим для сетевых фильтров. Цена этих фильтров доходит до 6300 рублей и выше.

ВЫВОД: если вы решили эффективно защитить свою бытовую технику от нежелательных эксцессов в электросети, то покупайте фильтры, которые обладают максимальными «фильтрующими» способностями.