

Новосибирский государственный технический университет

Лаборатория электромагнитной совместимости

Лабораторная работа №1

*Исследование пассивных
частотных фильтров*

Новосибирск 2009

«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАССИВНЫХ ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ»

Цель работы

Изучение принципов расчета пассивных фильтров, снятие и анализ АЧХ фильтров. Исследование влияния на работу фильтра параметров его элементов, характеристик генератора сигнала и нагрузки. Синтез схем пассивных фильтров, исследование фильтров, выпускаемых промышленностью.

Содержание работы

1. Ознакомиться с принципами работы пассивных частотных фильтров.
2. Для заданных преподавателем фильтров при помощи генератора сигналов и милливольтметра снять амплитудно-частотную характеристику.
3. При помощи компьютерной программы получить расчетную АЧХ измеренного фильтра.
4. Сравнить расчетные и измеренные АЧХ фильтров.
5. Составить отчет, содержащий исследуемые схемы, результаты измерений, расчетные и измеренные АЧХ. Объяснить полученные результаты и сформулировать выводы по работе.

Основные понятия и положения

На объектах энергосистемы аппаратура работает в условиях воздействия электромагнитных помех различного характера. Устройства на панелях управления и защиты обычно удалены от аппаратов, с которых они получают сигналы, поэтому на полезный информационный сигнал может накладываться нежелательных сигнал помехи. Для уменьшения искажения информации входные сигналы необходимо подвергать фильтрации.

Электрические фильтры предназначены для пропускания полезного сигнала и подавления помех в цепях питания и связи. Помехоподавляющий фильтр устанавливается непосредственно у источника помех для уменьшения излучения, а помехозащитный фильтр – перед приемником для подавления входящих помех. Фильтры ослабляют распространение помех вдоль проводящих линий. Их беспрепятственное применение предполагает, что спектр частот полезного сигнала отдален от

спектра частот помех на половину ширины полосы пропускания или более. При подходящем выборе граничных частот и крутизны передаточной функции фильтра можно достигнуть селективного затухания помех без заметного ущерба для полезного сигнала. Качество фильтра оценивают, прежде всего, по амплитудно-частотной характеристике (АЧХ) или ее основным элементам: частоте и крутизне среза, коэффициенту пропускания в полосе прозрачности.

По виду АЧХ различают следующие виды фильтров: полосовые (ПФ), режекторные (РФ), фильтры нижних (ФНЧ) и верхних (ФВЧ) частот (рис. 1). Фильтры подразделяются на две группы – по типу составляющих их элементов: пассивные и активные. Пассивные фильтры строятся на основе пассивных элементов – резисторов, конденсаторов и дросселей (катушек индуктивности). В активных фильтрах наряду с упомянутыми элементами используются также полупроводниковые элементы, которые требуют дополнительного питания. Активные фильтры, в свою очередь, делятся на аналоговые и цифровые. Достоинством активных фильтров по сравнению с пассивными является большая крутизна среза и больший коэффициент пропускания в полосе прозрачности, высокое входное и низкое выходное сопротивление. Достоинством пассивных фильтров является их простота, отсутствие необходимости в источнике питания.

Фильтр представляет собой четырехполюсник, предназначенный для выделения из сложного спектра частот источника сигналов определенного частотного диапазона. Граничная частота, разделяющая области пропускания и задерживания, называется обычно частотой среза.

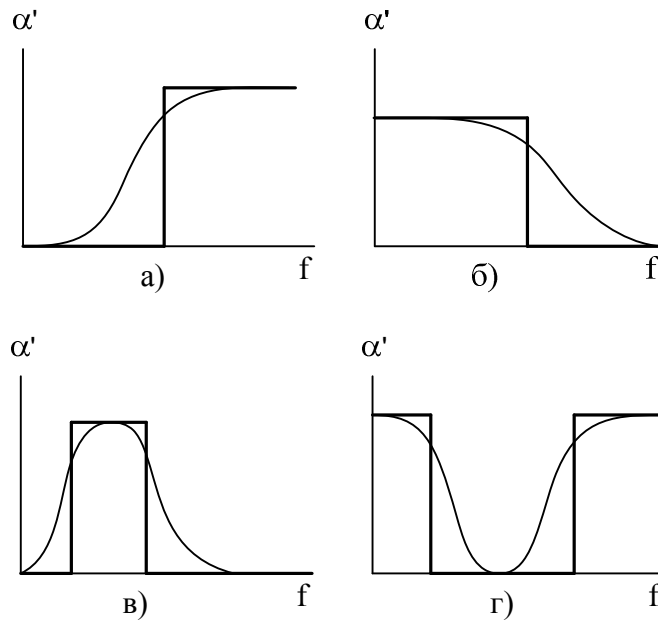


Рис. 1. АЧХ фильтров:
а) ФВЧ б) ФНЧ в) ПФ г) РФ

Пассивные фильтрующие компоненты образуют совместно с полными сопротивлениями источников и приемников (нагрузки) делитель напряжения, частотно-зависимый коэффициент деления которого, выражаемый как логарифм отношения напряжения на нагрузке без фильтра (U_1) и с фильтром (U_2), дает значение коэффициента затухания фильтра (α_Φ).

$$\alpha_\Phi = 20 \lg(U_1/U_2), \text{ дБ.} \quad (1)$$

В противоположность коэффициенту затухания используется также коэффициент пропускания, который определяется как отношение напряжения на выходе фильтра U_2 к напряжению без фильтра U_1

$$\alpha' = U_2/U_1 \quad (2)$$

Частота среза $f_{\text{ср}}$ определяется при отклонении АЧХ на 3 дБ от максимального значения коэффициента пропускания фильтра (рис. 2). Крутизну среза определяют в децибелах (дБ) при двойном изменении частоты, которое называют октавой.

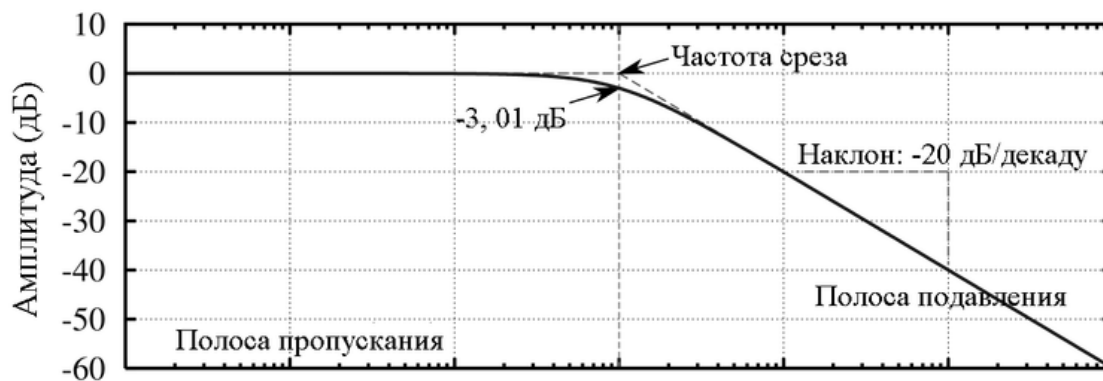


Рис. 2. Определение частоты среза ФНЧ 1-го порядка.

Для полосовых фильтров задают верхнюю и нижнюю частоты среза, для режекторных – центральную частоту.

Порядком фильтра называют количество примененных в нем пассивных реактивных элементов. Чем выше порядок фильтра, тем лучше его свойства. В случае фильтра первого порядка крутизна среза составляет -6 децибел на октаву (-20 децибел на декаду), для фильтра второго порядка на -12 дБ на октаву, для фильтра третьего порядка - на -18 дБ и так далее. При включении фильтров одного типа последовательно образуется каскад с затуханием, равным суммарному каждому из фильтров. Например, каскад из двух фильтров первого порядка дает затухание -12 дБ на октаву.

Выбор параметров пассивных фильтров зависит от сопротивления источника помех (генератора) и сети (нагрузки), от необходимого диапазона частот пропускания. Применение в качестве фильтра только одной емкости или индуктивности имеет смысл лишь в некоторых случаях. Блокировка сети электропитания емкостью эффективна тогда, когда внутреннее сопротивление источника помех и сети велико. Защита с помощью индуктивности может иметь место в противном случае, когда внутреннее сопротивление источника помех и сети мало (случай сетевого фильтра). Г-образный фильтр с емкостным входом применяется, когда внутреннее сопротивление источника помех велико, а сопротивление сети мало. Г-образный фильтр с индуктивным входом целесообразно использовать в обратных ситуациях. Наибольшее распространение для фильтрации цепей получили П-образные индуктивно-емкостные фильтры, поскольку они при прочих практиче-

ски равных показателей оказываются менее сложными по конструкции и обеспечивают достаточно высокое затухание помех.

По характеру возникновения помехи подразделяют на противофазные (или симметричные, дифференциальные) и синфазные (несимметричные). Первые образуются как паразитное напряжение между двумя проводами. Ток противофазной помехи в каждом проводе имеет противоположное направление. Напряжение синфазной помехи возникает как разность потенциалов между каждым проводом и землей. Ток синфазной помехи имеет одинаковое направление в каждом из проводов.

В симметричных электрических цепях (незаземленные цепи и цепи с заземленной средней точкой) противофазная помеха проявляется в виде симметричных напряжений (на нагрузке) и называется симметричной, в иностранной литературе она именуется помехой дифференциального типа (*differential mode interference*). Синфазная помеха в симметричной цепи называется асимметричной или помехой общего типа (*common mode interference*). Симметричные помехи в линии обычно преобладают на частотах до нескольких сотен кГц. На частотах же выше 1 МГц преобладают асимметричные помехи. Помехи, возникающие в несимметричных цепях, называются несимметричными. Для противофазной помехи несимметричной является цепь с разделенной (симметричной относительно земли) нагрузкой. Для силовых цепей более характерна несимметричная нагрузка, но, например, сами источники высокочастотных помех (силовые преобразователи и т. п.) могут генерировать асимметричные (синфазные) помехи. С другой стороны, синфазные помехи при определенных условиях преобразуются в противофазные.

Самый простой синфазный дроссель состоит из двух катушек, намотанных на один сердечник, связанных общим магнитным полем. Когда через катушки протекают дифференциальные токи, магнитные поля, индуцированные этими токами, взаимно уничтожают друг друга. Следовательно, входной импеданс этих катушек равен нулю (если пренебречь их омическим сопротивлением) и теоретически они не влияют на дифференциальные сигналы. Но в случае появления синфазных токов магнитные потоки обеих катушек складываются, и входной импеданс увели-

чивается, что приводит к подавлению синфазных токов и значительному снижению помех (рис. 3).

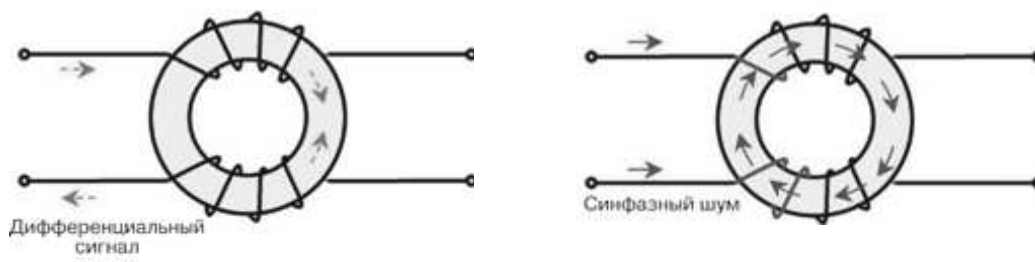


Рис. 3. Принцип работы синфазного дросселя.

Существуют также гибридные дроссели, содержащие как две магнитосвязанные обмотки для фильтрации синфазных помех, так и две независимые индуктивности для фильтрации симметричных помех (рис. 4).

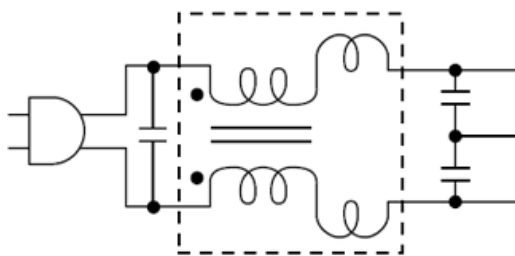


Рис. 4 Схема сетевого фильтра с использованием гибридного дросселя.

Конструкции фильтров различаются в зависимости от типа помех. Так, для компенсации симметричной помехи, возникающей между фазными проводами питающей сети, используют так называемый du/dt -фильтр НЧ, содержащий помехоподавляющие X-конденсаторы. X-конденсаторами называют такие конденсаторы, которые шунтируют провода линии между собой на высокой частоте. Иногда параллельно X-конденсатору устанавливают высокоомный резистор, предназначенный для его разряда после отключения фильтра. Для снижения синфазных помех в фильтр вводят Y-конденсаторы, включаемые между сигнальным проводником и землей. Еще одно различие между X и Y конденсаторами заключается в том, что при повреждении (пробое) Y-конденсатора появляется риск поражения человека электрическим током, поскольку при пробое конденсатора между фазным проводником и корпусом прибора последний может оказаться под напряжением. При пробое X-конденсатора такого не произойдет, поэтому требования к надежности и

выдерживаемым перенапряжениям у Y-конденсаторов более высокие (они могут выдерживать импульс напряжения до 8 кВ).

ГОСТ 13661-92 «Совместимость технических средств электромагнитная. Пассивные помехоподавляющие фильтры и элементы. Методы измерения вносимого затухания» [2] предписывает вносимое затухание фильтров измерять методом отношения напряжений или методом замещения. В работе используется метод отношения напряжений - для этого определяется отношение напряжений на выходе схемы измерения без фильтра и с фильтром.

Описание лабораторной установки

Для исследования работы фильтров высших и низших частот используются генератор сигналов SFG-2110 и набор фильтров. В работе для анализа используются два типа фильтров:

1. Два наборных фильтра - коммутируемые вручную пассивные элементы для сборки необходимой схемы (рис. 5).

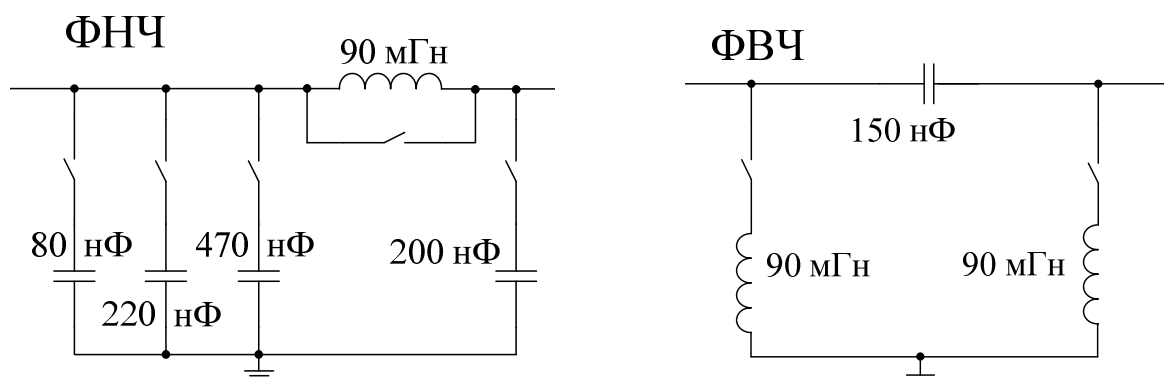


Рис. 5 Схемы наборных фильтров (ФНЧ и ФВЧ).

2. Три марки сетевых фильтров, выпускаемых промышленностью. Описание промышленных фильтров:

Фильтр помехоподавляющий ФС-16М. Фильтр предназначен: - для защиты электронной техники от промышленных и атмосферных высокочастотных помех, распространяемых по сети питания; - для предотвращения распространения промышленных помех по питающей сети от промышленного оборудования, являющегося источником помех.

Фильтр обеспечивает: - ослабление импульсных помех и шумов в диапазоне частот 0,15-1000 МГц не менее чем на 35 Дб; - защиту электронного оборудования от импульсных помех.

Конструкция: фильтр ФС 16М выполнен в корпусе тип II для установки на DIN-рейку 35мм. В верхней части блока находятся клеммные колодки для подключения фильтра к сети, в нижней – нагрузки. Внешний вид фильтра и его схема показаны на рис. 5. Данный фильтр содержит синфазный дроссель, на входе фильтра установлен варистор, обладающий в рабочем режиме (без импульсов напряжения) внутренней емкостью порядка 1,2 нФ.

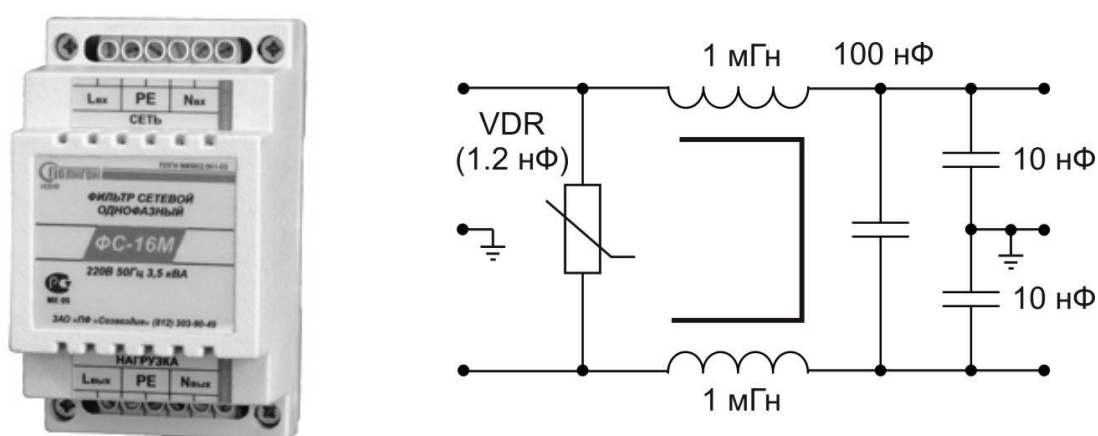


Рис. 6 Внешний вид и схема фильтра ФС-16М.

Сетевой фильтр DL-3DZ2KR. Фильтр DZ-серии со встроенной стандартной сетевой трехножевой розеткой, выключателем и предохранителем, для применения в различных электронных устройствах и изделиях. Ток до 3А. Помехоподавление 25дБ на 150 кГц. Внешний вид и схема фильтра показаны на рис. 7. Фильтр содержит синфазный дроссель.

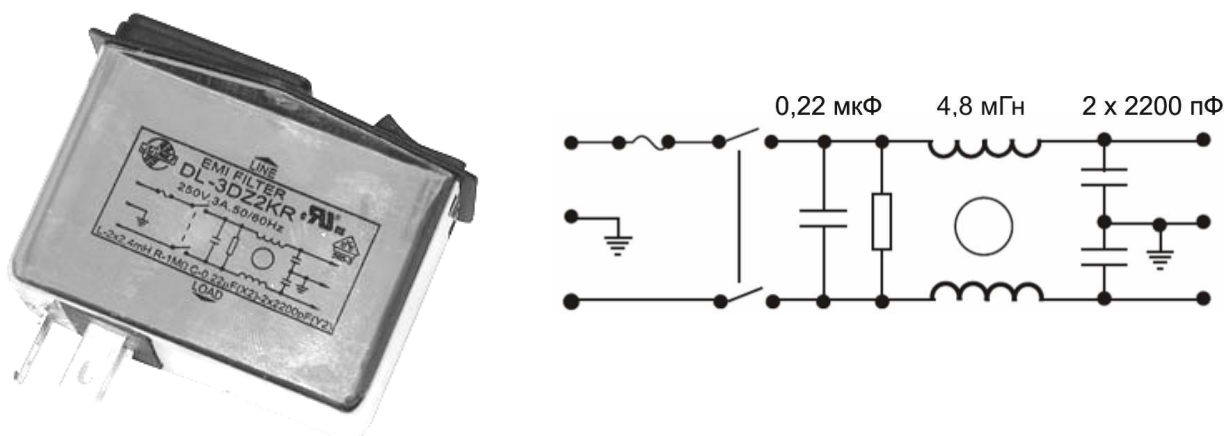


Рис. 7 Внешний вид и схема фильтра DL-3DZ2KR.

Фильтр питания автомобильный ФП/5А. Фильтр рассчитан на работу в цепи постоянного тока и предназначен для фильтрации помех в цепи питания автомобильных магнитол мощностью до 20 Вт. Работа фильтра в сети постоянного тока обуславливает применение в его схеме электролитического конденсатора большой емкости. Внешний вид и схема фильтра показаны на рис. 8.

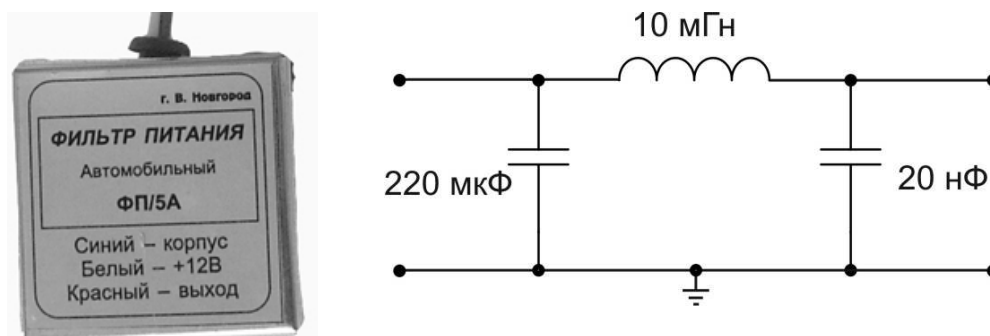


Рис. 8. Внешний вид и схема фильтра ФП/5А.

На лабораторном стенде также расположены тумблер питания, цифровой вольтметр, переключатель сопротивления нагрузки. Используемый в работе генератор позволяет создавать переменное напряжение в диапазоне частот 0,1 Гц – 10 МГц и амплитудой до 5 В. Формы сигналов: синусоида, меандр, треугольник. Внутреннее сопротивление генератора 50 Ом. В работе используется синусоидальный сигнал.

Перечисленные промышленные сетевые фильтры измеряются при сопротивлении нагрузки и генератора 50 Ом, наборные фильтры – при сопротивлении нагрузки и генератора 500 Ом. Для приведения сопротивления генератора к 500 Ом в схему наборных фильтров введено входное сопротивление, равное 450 Ом.

Подача сигнала на фильтр и измерение выходного напряжения производится подключением соответствующих кабелей к нужным гнездам на стенде (кабель «генератор-вход фильтра» и кабель «выход фильтра – вольтметр»). Каждый фильтр имеет подписанное гнездо «Вход» и «Выход». Дополнительно, два переключателя «Синф/Симм» имеют фильтры ФС-16М и DL-3DZ2KR. Эти переключатели обеспечивают снятие АЧХ фильтра при подаче синфазного или симметричного сигнала.

Методические указания

1. Теоретическое исследование фильтров

Относительный коэффициент пропускания (K_f) фильтра легко получить по схемам (рис. 9) с помощью простых преобразований по закону Ома. Для этого необходимо определить отношение напряжений на нагрузке при наличии фильтра и без него.

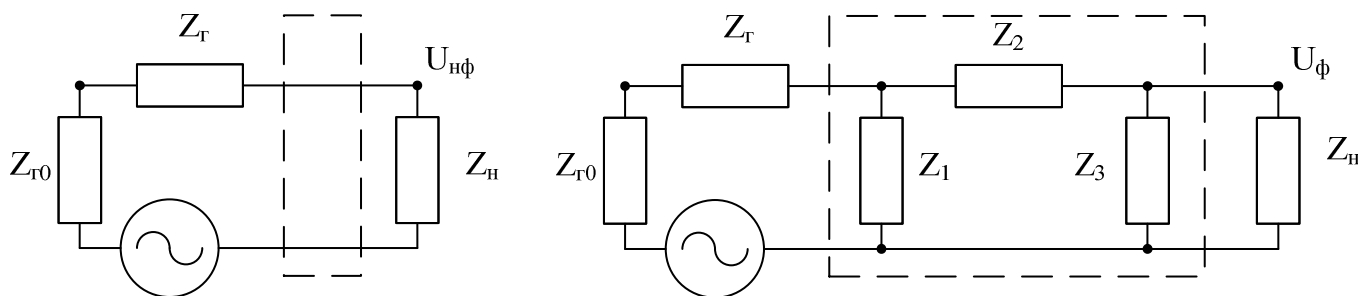


Рис. 9. Схема замещения фильтра

Относительный коэффициент пропускания определяется по формуле:

$$K_f = \frac{U_{\Phi}}{U_{НФ}},$$

где напряжения U_{Φ} и $U_{НФ}$ зависят только от параметров схемы.

На основе анализа схемы рис. 8 может быть получено выражение:

$$K_f = \left| \frac{\dot{Z}_1 \cdot \dot{Z}_3 \cdot (\dot{Z}_{Г0} + \dot{Z}_Г + \dot{Z}_Н)}{(\dot{Z}_{Г0} + \dot{Z}_Г) \cdot [\dot{Z}_Н \cdot (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dot{Z}_3) + \dot{Z}_3 \cdot (\dot{Z}_1 + \dot{Z}_2)] + \dot{Z}_1 \cdot [\dot{Z}_2 \cdot \dot{Z}_3 + \dot{Z}_Н \cdot (\dot{Z}_2 + \dot{Z}_3)]} \right| \quad (4)$$

Для построения используется коэффициент пропускания, определенный в децибелах по выражению $\alpha_{\Phi} = 20 \lg(K_f)$, дБ.

В начале работы требуется:

Для заданных преподавателем фильтров рассчитать и построить амплитудно-частотные характеристики. По оси абсцисс расположить частоту в логарифмическом масштабе.

Расчетную АЧХ каждого фильтра расположить на отдельном графике, на который потом следует нанести измеренную АЧХ этого фильтра.

При расчете фильтров, содержащих синфазный дроссель, следует рассчитать (а затем и измерить) по две АЧХ – для симметричного и несимметричного (синфазного) подключения генератора и нагрузки. При расчете следует учесть различие в расчетных схемах этих фильтров в этих режимах. Расчетные схемы промышленных фильтров приведены на рис. 10-12.

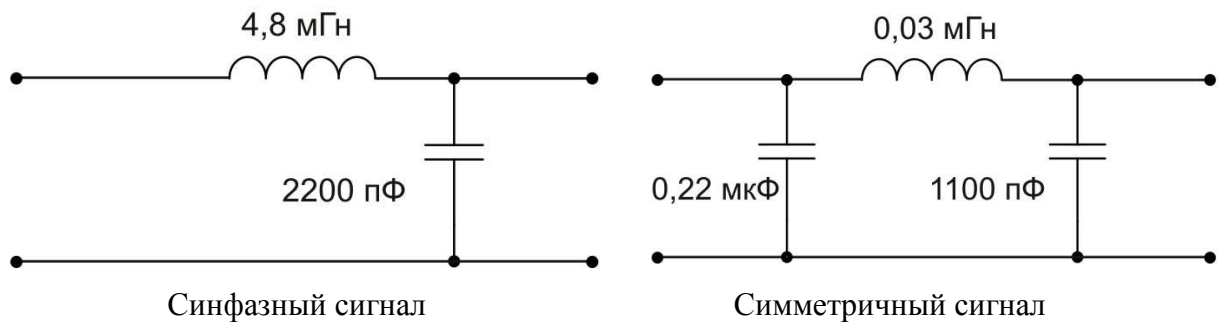


Рис. 10. Расчетная схема фильтра DL-3DZ2KR.

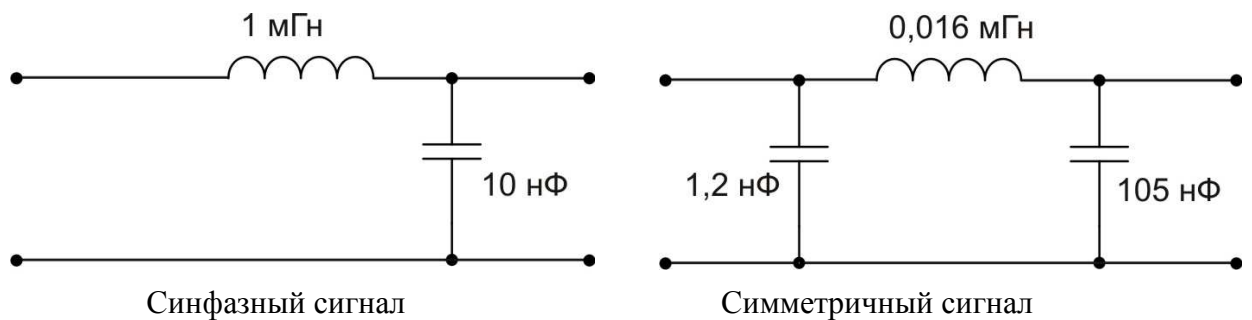


Рис. 11. Расчетная схема фильтра ФС-16М.

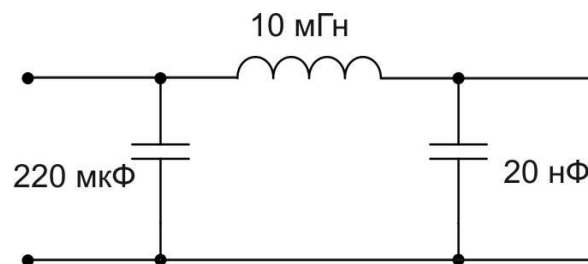
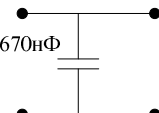
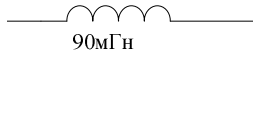
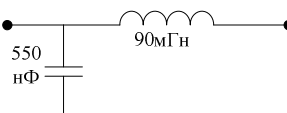
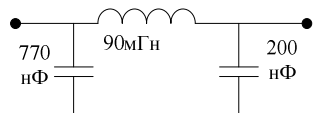
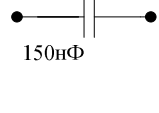
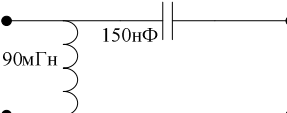
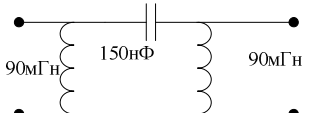


Рис. 12. Расчетная схема фильтра ФП/5А.

При расчете наборных схем фильтров следует учитывать активное сопротивление катушек индуктивности, равное **220 Ом**. При расчете сетевых фильтров активным сопротивлением катушек индуктивности можно пренебречь. Возможные варианты наборных схем с номиналами элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Порядок фильтра	1	1	2	3
ФНЧ				
ФВЧ				

2. Практическое исследование фильтров

Для исследования наборных фильтров следует собрать схему фильтра путем подключения/отключения соответствующих элементов или их закорачиванием.

Сигнал от генератора подключается кабелем к гнезду «Вход» исследуемого фильтра. Напряжение с гнезда «Выход» кабелем подается на гнездо «Вход вольтметра». Для работы с наборными фильтрами следует установить переключателем сопротивление нагрузки 500 Ом, для работы с промышленными фильтрами – 50 Ом.

В начале измерений следует снять зависимость выходного напряжения генератора при разных частотах на заданной нагрузке. В случае, если сопротивления генератора и нагрузки равны 50 Ом, то достаточно подключить кабель с выхода генератора на вход вольтметра, установить сопротивление нагрузки 50 Ом и снять показания вольтметра во всем диапазоне частот (от 20 Гц до 1 МГц). В случае сопротивлений генератора и нагрузки по 500 Ом следует сигнал генератора пропустить через фильтр ФНЧ с закороченной катушкой и отключенными емкостями для добавления к сопротивлению генератора (50 Ом) сопротивления 450 Ом. Рекомендуемые точки измерений – на частотах 10, 20, 50, 100, 200, 500 Гц, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 кГц и 1 МГц.

Затем, подключив кабель с выхода генератора на вход исследуемого фильтра, а вход вольтметра – на выход этого фильтра, произвести измерение выходного напряжения на тех же частотах сигнала.

Амплитуда сигнала генератора должна быть установлена **равной 50%** от максимальной. В процессе работы амплитуду сигнала **изменять нельзя**.

Все результаты измерений следует занести в таблицу. Амплитуда сигнала изменяется с помощью регулятора AMPL. Частота выставляется с помощью цифровых клавиш и кнопки с соответствующей частотой (Hz, kHz, MHz), либо с помощью регулятора частоты и кнопок переключения разряда числа.

Измеренные АЧХ фильтров следует расположить на тех же графиках, что и полученные теоретически.

Контрольные вопросы:

1. Объясните принципы работы частотных фильтров и способы борьбы с помехами с их помощью.
2. Классификация фильтров по виду АЧХ.
3. Достоинства и недостатки пассивных и активных фильтров.
4. Что такое частота среза фильтра? Как она определяется?
5. Что такое порядок фильтра. Что он определяет?
6. Синфазные и противофазные помехи. Принцип работы синфазного дросселя.
7. Назначение X и Y конденсаторов в схеме сетевых фильтров.
8. Основы расчета помехоподавляющих пассивных фильтров.
9. Какой ГОСТ определяет методы измерения вносимого затухания?
10. Что характеризует амплитудночастотная характеристика фильтров?
11. Каким образом снимается АЧХ фильтра?
12. Объясните схемотехнику используемых в работе сетевых фильтров.
13. Объясните различие расчетных схем фильтра для синфазного и симметричного сигналов.
14. Объясните влияние сопротивления генератора на характеристики фильтра.
15. Объясните влияние сопротивления нагрузки на характеристики фильтра.