

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕВЫХ ЗАЩИТНЫХ ФИЛЬТРОВ, ЭФФЕКТИВНЫХ В ДИАПАЗОНЕ ЧЕТЫРЁХ-ПЯТИ ДЕКАД

Леонид Слободян, Владимир Темников

Национальный технический университет Украины "КПИ"

*Анотація:* У статті описана процедура проектування захисних фільтрів, ефективних в діапазоні частот 4-5 декад.

*Summary:* In the article designing procedure of protective filters, which are effective in frequencies range 4-5 decades is described.

*Ключевые слова:* защита информации, защитный фильтр, вносимое затухание

### I Введение

Для предотвращения утечки информации по цепям электропитания применяются сетевые защитные фильтры. Они могут устанавливаться на сетевом вводе средств обработки и регистрации информации, вычислительной и оргтехники (фильтры на токи 1-6 А) и на силовом входе в помещения (на 10 А и выше). При этом фильтры для каждого отдельного компьютера могут быть как наружными, так и встроенными.

Затухание фильтров в диапазоне подавляемых частот должно превышать 60 дБ. Диапазон частот указывается в техническом задании на разработку защитного фильтра. Часто это диапазоны частот 0,1...1000 МГц или 0,15...1000 МГц. Однако в последнее время существует тенденция к расширению диапазона в сторону более низких частот - нижняя граничная частота диапазона должна составлять 10 кГц, а в некоторых случаях и менее.

В статье описана процедура проектирования защитных фильтров, эффективных в диапазоне частот 4-5 декад.

### II Алгоритм проектирования защитных фильтров

Разработка фильтров, эффективных в столь широком диапазоне частот, как 4-5 декад, представляет собой сложную задачу из-за необходимости учета паразитных параметров элементов (дросселей и конденсаторов) и ограничений по току утечки. Последнее в основном касается фильтров, устанавливаемых на сетевых вводах средств обработки и регистрации информации, вычислительной и оргтехники. Для вычислительной техники допустимы значения токов утечки 3,5 мА [1].

Алгоритм проектирования приведен на рисунке 1.

Этап 1. Выбор базовой схемы осуществляется из банка данных базовых схем, составленного на основе анализа эффективности фильтров, построенных по различным электрическим схемам, и опыта разработчика [2] с учетом требований [3].

Этап 2. Расчет (выбор) параметров элементов фильтра (дросселей и конденсаторов) проводится на основе следующих положений:

- диапазон подавляемых частот рациональным образом разбивается на поддиапазоны с учетом того, что затухание в каждом поддиапазоне частот в значительной степени определяется собственным резонансом элемента, "ответственного за поддиапазон" (собственные резонансы являются характерной особенностью частотных зависимостей сопротивлений дросселей и конденсаторов и обусловлены их регулярными и паразитными параметрами [2, 4]);

- выбор элементов осуществляется из банка данных, в котором приведены частотные зависимости импедансов дросселей и конденсаторов различных типов.

Значения паразитных емкостей дросселей собственного изготовления могут быть или измерены или рассчитаны (например, по [5]). Управлять значениями частот собственных резонансов дросселей можно путем применения различных способов намотки обмоток дросселей (рядовой, внавал, секционной или др.) [6].

Этап 3. Модель для расчета вносимого затухания выбирается в зависимости от предполагаемого способа проверки затухания фильтра.

Варианты измерительных цепей для проверки затухания фильтра:

- "генератор синусоидальных сигналов с регламентированным выходным сопротивлением - фильтр - измерительный приемник с регламентированным выходным сопротивлением" в соответствии с ГОСТ 13661-92 [7] (такая измерительная цепь используется, когда разработка фильтра проводится безотносительно к конкретному защищаемому устройству);

- "защищаемое устройство - фильтр - эквивалент сети" (такая измерительная цепь используется, когда разработка фильтра проводится применительно к конкретному защищаемому устройству).

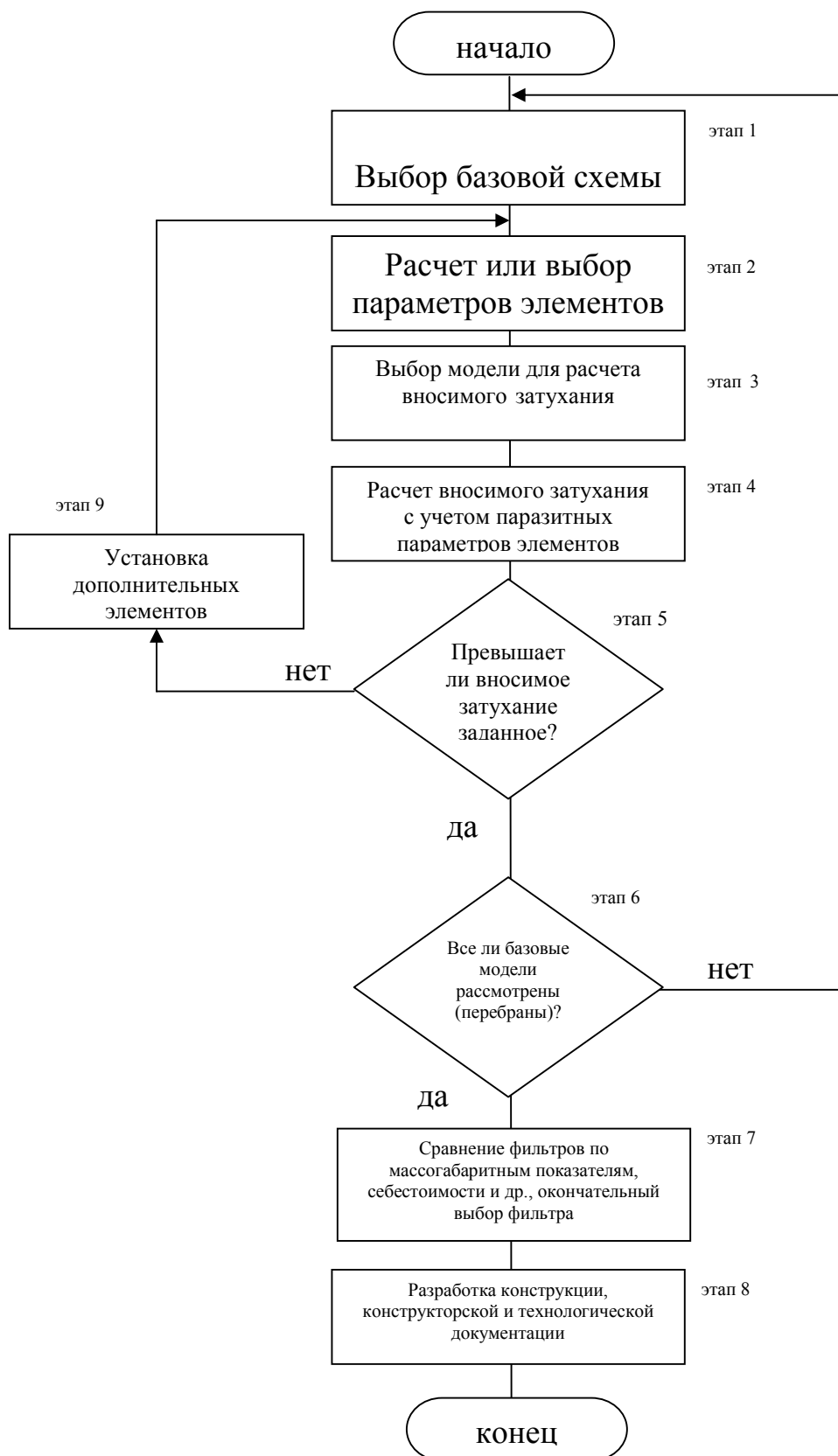


Рисунок 1

При предполагаемом применении первой измерительной цепи модель для расчета вносимого затухания имеет вид, показанный на рисунке 2, а.

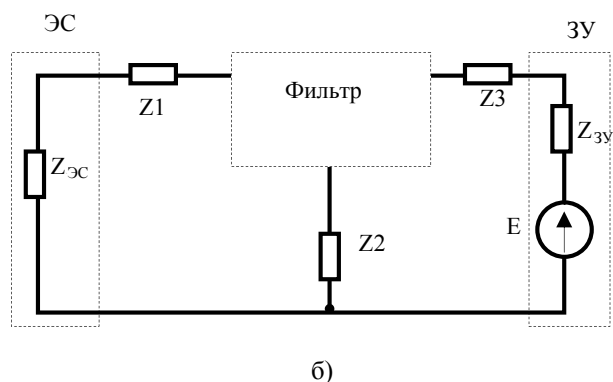
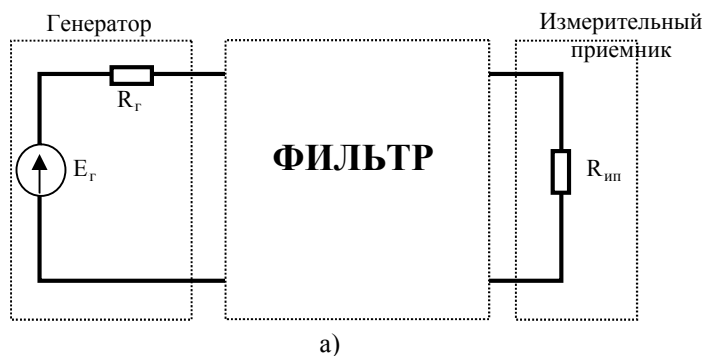


Рисунок 2

Модель цепи состоит из моделей генератора (в виде источника напряжения  $E_r$  с внутренним сопротивлением  $R_r = 50$  Ом), измерительного приемника (в виде сопротивления  $R_{ип} = 50$  Ом) и фильтра. Построенная таким образом модель соответствует несимметричной схеме измерения вносимого затухания фильтров методом отношения напряжений без рабочего тока по ГОСТ 13661-92 [7].

Во втором случае модель цепи имеет вид, показанный на рисунке 2,б. Модель цепи состоит из моделей защищаемого устройства (ЗУ), эквивалента сети (ЭС) и фильтра. Так как на входе ЗУ обычно установлен источник вторичного электропитания, модель защищаемого устройства включает источник напряжения  $E$  с внутренним импедансом  $Z_{ЗУ}$ , моделируемым последовательным или параллельным индуктивно-емкостным контуром. В диапазоне частот 0,15...30 МГц обобщенные параметры контуров равны:  $L_{посл} = 1...5$  мкГн,  $C_{посл} = 5000...15000$  пФ для последовательного LC-контра и  $L_{пар} = 0,1...0,5$  мГн,  $C_{пар} = 50...1000$  пФ для параллельного LC-контра [4].

ЭС представлен в виде импеданса  $Z_{ЭС}$ . В соответствии с частотными зависимостями импедансов ЭС, приведенными в ГОСТ 11001-80 [8], модель ЭС может представлять собой параллельное соединение сопротивления  $R_{ЭС1}$  и последовательной цепочки, состоящей из индуктивности  $L_{ЭС}$  и сопротивления  $R_{ЭС2}$ . При этом для различных ЭС по ГОСТ 11001-80 указанные индуктивность и сопротивления равны:

- в диапазоне частот 10...150 кГц -  $L_{ЭС} = 50$  мкГн,  $R_{ЭС1} = 50$  Ом,  $R_{ЭС2} = 5$  Ом,

- в диапазоне частот 0,15...30 МГц - 1)  $L_{ЭС} = 50$  мкГн,  $R_{ЭС1} = 50$  Ом,  $R_{ЭС2} = 0$ , 2)  $L_{ЭС} = 5$  мкГн,

$R_{ЭС1} = 50$  Ом,  $R_{ЭС2} = 1$  Ом, 3)  $L_{ЭС} \rightarrow \infty$ ,  $R_{ЭС1} = 150$  Ом,  $R_{ЭС2}$  - произвольное значение.

$Z1 - Z3$  - импедансы, моделирующие соединительные и заземляющие провода эквивалента сети и защищаемого устройства.

На этапе 4 проводится расчет вносимого затухания фильтра. Расчет проводится с учетом паразитных параметров элементов. Формулы для расчета затухания некоторых фильтров приведены в [2, 4].

На этапе 5 затухание, рассчитанное на этапе 4, сравнивается с заданным.

Если затухание рассматриваемого фильтра превышает заданное, следует перейти к следующей базовой схеме (этап 6). После перебора всех базовых схем следует провести сравнение фильтров по массогабаритным показателям, себестоимости и другим критериям и на основе сравнения выбрать фильтр, в наибольшей степени

удовлетворяющий техническому заданию (этап 7), разработать конструкцию, конструкторскую и технологическую документацию (этап 8).

Повысить затухание, если оно меньше заданного, можно путем установки в фильтре дополнительных элементов (этап 9). В частности, на высоких частотах этого можно достичь путем установки в фильтрах безвитковых дросселей на колечках из ферритов с начальной магнитной проницаемостью десятки-сотни.

### III Пример проектирования защитного фильтра

Ниже приведен пример упрощенного проектирования (выбора схемы и параметров элементов) фильтра, вносящего затухание не менее 60 дБ в диапазоне частот 0,1...1000 МГц в цепи, состоящей из генератора и измерительного приемника с регламентированными сопротивлениями 50 Ом / 50 Ом [7].

В качестве базовой выбрана Т-образная схема фильтра (рисунок 3). В связи с широким диапазоном подавляемых частот в состав фильтра входят как низкочастотные, так и высокочастотные элементы (в частности, С1 - низкочастотный двухпроводный конденсатор, С2 - высокочастотный проходной конденсатор или фильтр).

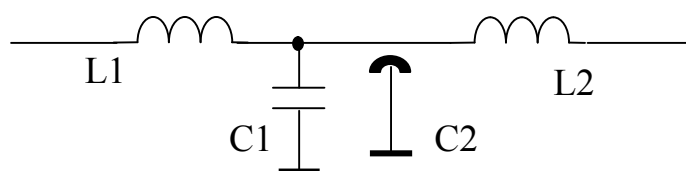


Рисунок 3

Параметры низкочастотного дросселя выбираем так, чтобы вносимое затухание фильтра на частоте 100 кГц составляло примерно 60 дБ.

Анализ показал, что рационального расположения на частотной оси частот собственных резонансов элементов фильтра можно достичь, если выбрать следующие регулярные и паразитные параметры элементов базового фильтра: дроссель L1 - индуктивность 20 мГн, паразитная емкость 50 пФ; дроссель L2 - индуктивность 0,5 мГн, паразитная емкость 15 пФ; конденсатор С1 - емкость 22000 пФ, паразитная индуктивность 35 нГн, конденсатор С2 - емкость 4400 пФ, паразитная индуктивность 0,1 нГн. Паразитные емкости дросселей L1 и L2 характерны для дросселей собственного изготовления; параметры конденсаторов характерны соответственно для двухпроводных конденсаторов (в частности, типов К78-2, К78-10) и проходных конденсаторов и фильтров (например, типов КТП, Б14, Б23Б и др.).

На рисунке 4 (кривая 1) приведена частотная зависимость вносимого затухания фильтра по схеме рисунка 3, построенного на указанных элементах. При проведении расчета использовалась модель цепи по рис.2,а.

Экстремумы-максимумы частотной зависимости обусловлены собственными резонансами следующих элементов: f1 - дросселя L1, f2 - дросселя L2, f3 - конденсатора С1, f4 - конденсатора С2.

Так как вносимое затухание фильтра меньше 60 дБ на частотах выше 10 МГц, схема фильтра усложнена. Для повышения затухания в верхней части диапазона подавляемых частот на входе и выходе фильтра устанавливаем дополнительные высокочастотные проходные конденсаторы (фильтры) с параметрами, как у конденсатора С2 в схеме рисунка 3. Фильтр при этом приобретает вид рисунка 5.

Частотная зависимость вносимого затухания фильтра, построенного по схеме рисунка 5, приведена на рисунке 4 (кривая 2). Частоты собственных резонансов конденсаторов С<sub>вх</sub> и С<sub>вых</sub> совпадают с частотой собственного резонанса конденсатора С2 (частота f4).

Из кривой 2 рисунка 4 видно, что затухание фильтра по схеме рисунка 5 превышает 60 дБ во всем диапазоне подавляемых частот (0,1...1000 МГц). При этом ток утечки фильтра находится в допустимых пределах (в соответствии с [1]).

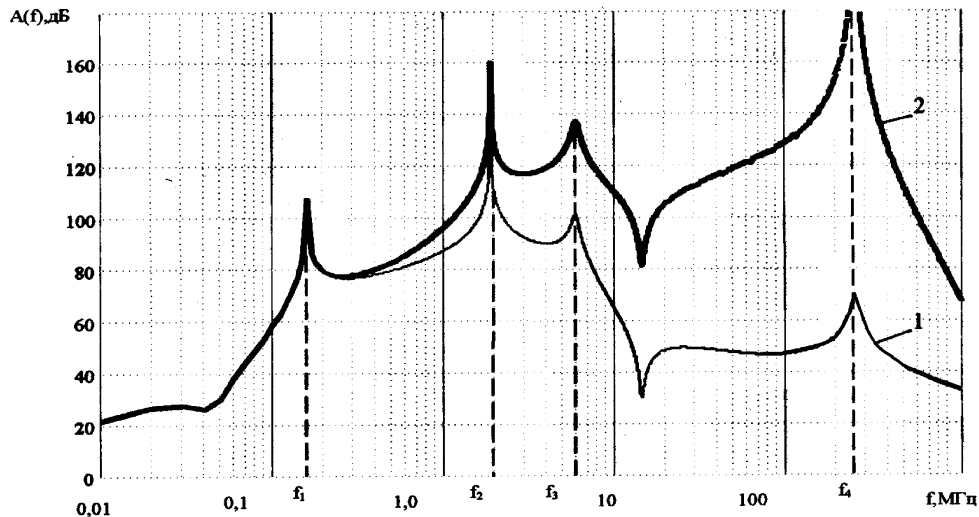


Рисунок 4

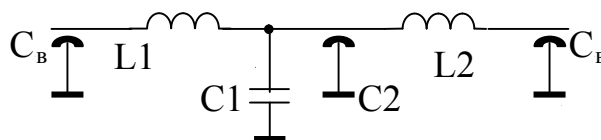


Рисунок 5

#### IV Заключение

На основе описанного алгоритма проектирования защитных фильтров в Центре электромагнитной совместимости и Научно-исследовательском институте аудио- и видеотехники Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт” разработаны и серийно изготавливаются сетевые защитные помехоподавляющие фильтры на токи 1, 3, 6 и 10 А (соответственно типов ФМПЗ-1-1, ФМПЗ-1-3, ФМПЗ-1-6 и ФМПЗ-1-10). Технические условия на фильтры типа ФМПЗ-1 (ТУ У 02070921.186-99) зарегистрированы в Госстандарте Украины. Фильтры включены в Перечень технических средств общего назначения, разрешенных для использования с целью обеспечения технической защиты информации.

*Литература:* 1. ГОСТ 25861-83 Машины вычислительные и системы обработки данных. Требования электрической и механической безопасности и методы испытаний. - М.: Изд-во стандартов. - 1983. 2. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания / Г.С.Векслер, В.С.Недочетов, В.В.Пилинский, М.В.Родионова, В.А.Темников; Под ред. Г.С.Векслера. - Киев: Техника, 1990. - 167 с. 3. ДСТУ 3639-97 Совместимость технических средств электромагнитная. Помехоподавляющие фильтры. Общие технические условия. - Киев: Госстандарт Украины. - 1997. 4. Темников В.А. Помехоподавляющие средства полупроводниковых преобразователей электрической энергии / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. - Киев, КПИ. - 1995. 5. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания / А.Н.Горский, Ю.С.Русин, Н.Р.Иванов, Л.А.Сергеева. - М.: Радио и связь, 1988. - 176 с. 6. Nave M.J. Power Line Filter Design for Switched-Mode Power Supplies. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. - 207 p. 7. ГОСТ 13661-92 Элементы и фильтры для подавления промышленных радиопомех. Методы измерения вносимого затухания. - М.: Изд-во стандартов. - 1992. 8. ГОСТ 11001-80 Приборы для измерения промышленных радиопомех. Технические требования и методы испытаний. - М.: Изд-во стандартов. - 1980.