

Ферритовые фильтры

Владимир ГУРЕВИЧ,
к. т. н.

Ферритовый фильтр — пассивный электрический компонент, использующийся для подавления высокочастотных помех в электрических цепях. Это один из самых простых и дешевых типов фильтров. Очевидно, именно поэтому фильтры такого типа нашли самое широкое применение в электронной и электротехнической аппаратуре как бытового, так и промышленного назначения. Казалось бы, при такой широкой распространенности этих элементов методика их правильного выбора и применения должна быть хорошо всем известна. Увы, на самом деле все оказалось не так просто...

Простейшим типом фильтра, не требующим больших затрат, но, тем не менее, существенно ослабляющим воздействие короткого (то есть аналогичного по свойствам высокочастотному сигналу) электромагнитного импульса в проводах, подключенных к электронной аппаратуре, является ферритовый фильтр в форме кольца (цилиндра), надеваемого на провод (рис. 1).

Импеданс катушки, образованной одним или несколькими витками контрольного кабеля, пропущенного через ферритовое кольцо, очень мал для низкочастотных рабочих сигналов и для переменного тока промышленной частоты и очень велик для высокочастотных (импульсных) сигналов в определенном диапазоне частот, зависящем от количества витков, материала и геометрических размеров кольца. В результате импульсные и высокочастотные помехи, попавшие в такой кабель, будут существенно ослаблены. Затухание, вносимое такими фильтрами, составляет 10–15 дБ.



Рис. 1. Ферритовые элементы (ФЭ) фильтров



Рис. 2. Миниатюрные фильтры на основе ферритовых элементов (ФЭ), предназначенные для монтажа на печатной плате

Многочисленными компаниями производится множество типов таких фильтров, как миниатюрных, предназначенных для монтажа внутри аппаратуры на печатных платах (рис. 2), так и для монтажа непосредственно на проводах (кабелях). Для удобства монтажа данные фильтры часто выполняют в виде двух сопрягаемых полуколец (полуцилиндров), размещенных в защелкивающемся пластмассовом корпусе, обеспечивающих быстрый и удобный монтаж фильтров на проводах (рис. 3).

В электронной аппаратуре такие фильтры можно использовать повсеместно: и в цепях питания, и в цепях передачи логических и импульсных сигналов, и в цепях связи (рис. 4).

Фильтры на основе ФЭ выпускаются многочисленными компаниями (таблица).

Приведенные в таблице частотные диапазоны не относятся к какому-то конкретному типу фильтра, а указывают лишь область частот, в пределах которых работает та или иная компания. Частотные диапазоны кон-

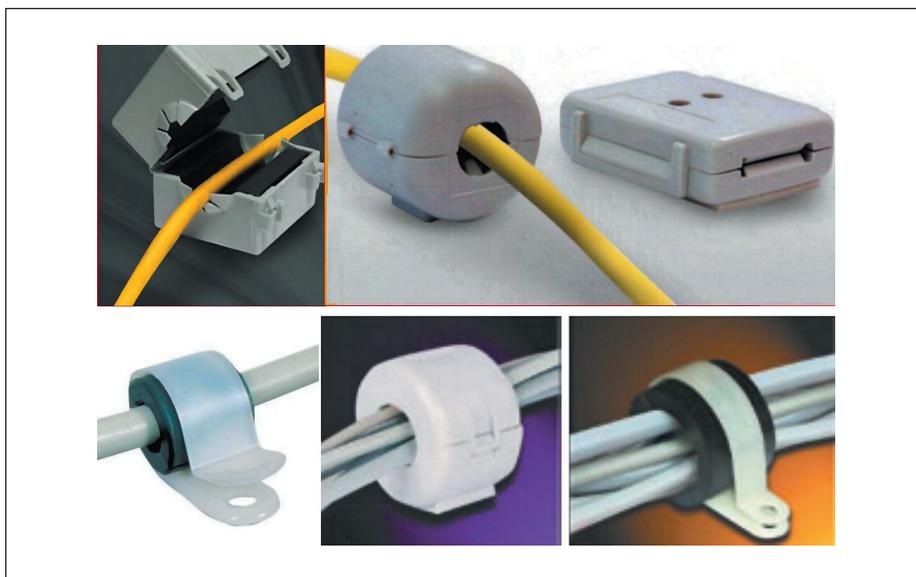


Рис. 3. Конструкция ферритовых фильтров для быстрого и удобного монтажа на проводах

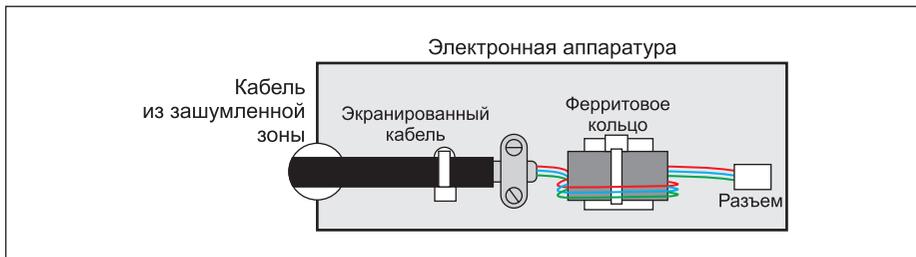


Рис. 4. Установка фильтра на основе ферритового кольца на контрольном кабеле, входящем в электронную аппаратуру

Таблица. Частотные характеристики фильтров на основе ФЭ, выпускаемых различными компаниями

Название компании	Частотный диапазон выпускаемых компанией фильтров, МГц
Fire-Rite Products Corp.	1–1000
Ferrishield	30–2450
Ferroxcube	0,2–200
Murata	миниатюрные для печатных плат
NEC/Tokin	0,1–300
Parker Chomerics	30–200
Laird	30–2000
TDK	10–500
Leader Tech, Inc	1–2450
Würth Elektronik	миниатюрные для печатных плат

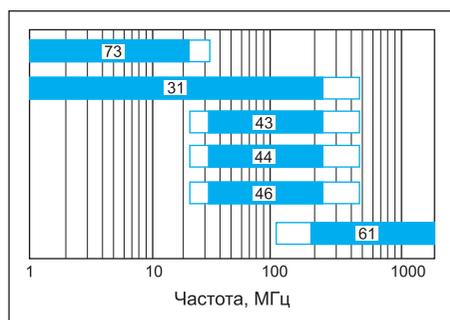


Рис. 5. Частотные диапазоны различных типов материалов (обозначены номерами), используемых в производстве ФЭ в компании Fire-Rite Products Corp.

кретных типов фильтров в действительности намного уже указанных в таблице диапазонов. В качестве примера на рис. 5 представлены частотные диапазоны материалов различных типов, используемых для производства ФЭ в компании Fire-Rite Products Corp.

Несмотря на свою кажущуюся простоту и невысокую стоимость (\$1–10), ферритовые фильтры не так просты, как это может показаться. Их эффективность зависит от очень многих параметров: типа материала, экви-

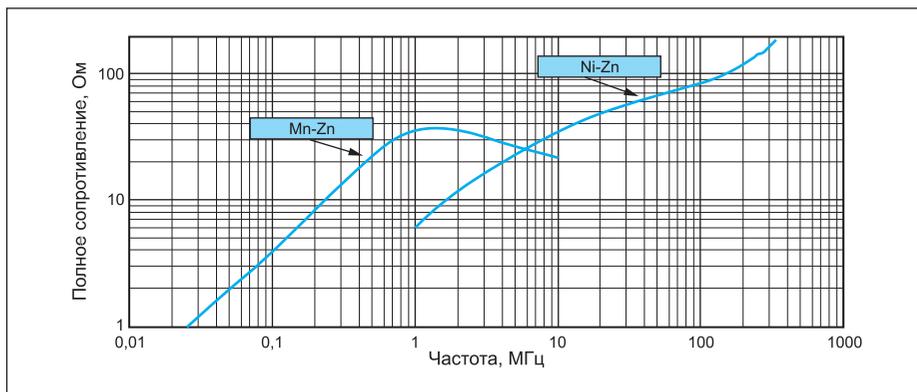


Рис. 6. Зависимость полного сопротивления фильтра на основе ФЭ от типа материала и частоты

валентной частоты импульса тока, который нужно ослабить, геометрических размеров ферритового элемента (ФЭ), количества витков провода, пропущенного через него, величины постоянной составляющей тока, протекающего в проводе, температуры и т. д.

Частотные свойства фильтра зависят от нескольких параметров, в первую очередь от типа материала ФЭ. Для частотного диапазона 0,1–2 МГц используются, как правило, марганец-цинковые ферриты (Mn-Zn) с магнитной проницаемостью $\mu = 600–20.000$, а для диапазона 1 МГц – 2,45 ГГц — никель-цинковые ферриты (Ni-Zn) с магнитной проницаемостью $\mu = 15–2000$. В процессе производства применяются также различные смеси ферритов.

Помимо частотных характеристик, важнейшим параметром фильтра на основе ФЭ является его полное сопротивление, которым и определяется степень подавления помехи.

Полное сопротивление фильтра на основе ФЭ в значительной степени определяется и типом используемого материала, а также рабочей частотой (рис. 6).

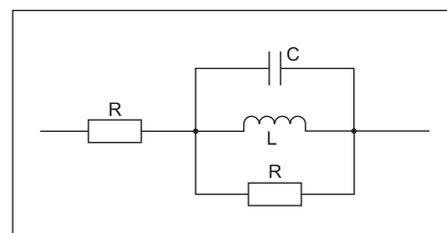


Рис. 7. Схема замещения фильтра на основе ФЭ

Поскольку фильтры на основе ФЭ обладают индуктивностью, емкостью и активным сопротивлением (рис. 7), то оказывается, что частотные характеристики и полное сопротивление фильтра зависят и от геометрических размеров ФЭ, в частности от его длины (рис. 8).

Как можно видеть из рис. 8, фильтры на основе ФЭ большей длины и всегда обладают и большим полным сопротивлением при остальных равных параметрах, что объясняется большим индуктивным сопротивлением фильтров с длинными ФЭ.

Полное сопротивление фильтров на основе ФЭ в значительной степени зависит и от коли-

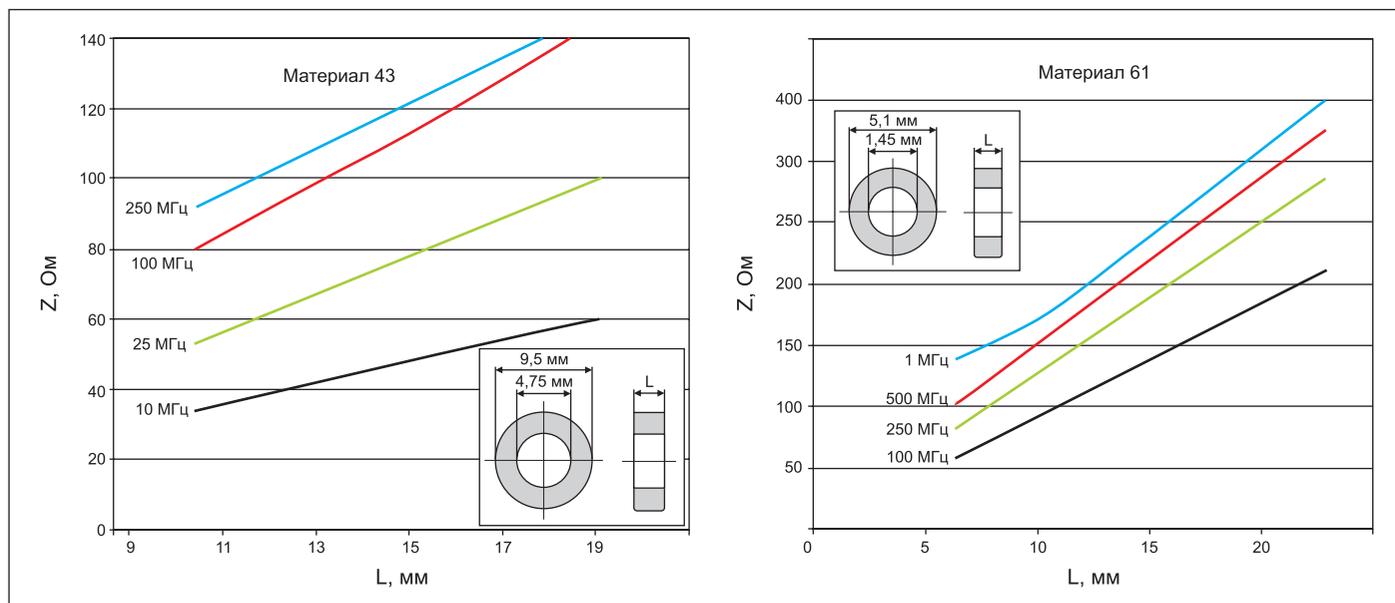


Рис. 8. Зависимость полного сопротивления Z фильтра от длины L ферритовых элементов, выполненных из материалов двух типов (43 и 61) компании Fire-Rite Products Corp.

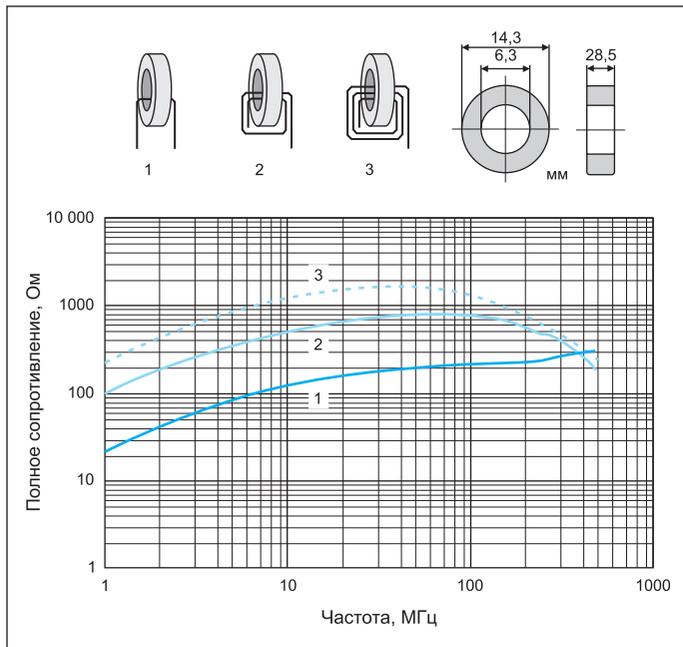


Рис. 9. Типичная зависимость полного сопротивления фильтра от количества витков (обозначены цифрами 1–3), пропущенных через ФЭ

чества витков провода, пропущенного через ФЭ (рис. 9). Как можно видеть из рис. 9, с ростом частоты помехи полное сопротивление фильтра с несколькими витками провода начинает снижаться значительно быстрее, чем фильтра с одним витком, что можно объяснить большей емкостью фильтра с несколькими витками. При дальнейшем увеличении частоты помехи фильтры с несколькими витками провода оказываются уже менее эффективными, чем фильтры с одним витком.

Еще одно, довольно неприятное свойство фильтра на основе ФЭ заключается в наличии зависимости его свойств от величины постоянной составляющей тока, протекающего через него (рис. 10). Это влияние обусловлено изменением магнитных свойств ФЭ при наличии постоянной составляющей в токе.

Наличие индуктивности и емкости в схеме замещения фильтра (рис. 7) обуславливает опасность возникновения резонанса при определенных частотах, когда вместо осла-

бления сигнала помехи произойдет ее усиление, — что является еще одним неприятным свойством такого фильтра.

Как же правильно выбрать фильтр для эффективной защиты от электромагнитных помех в широком диапазоне частот при наличии такого большого количества факторов, влияющих на его параметры? Непросто. Особенно если учесть отсутствие стандартов, описывающих процедуру измерения параметров таких фильтров, и использование различными производителями разных методик для таких измерений, что делает практически несопоставимыми параметры фильтров, изготовленных различными производителями.

На основе проведенного выше анализа можно рекомендовать следующие основные принципы правильного выбора фильтров с ФЭ:

1. Для эффективного подавления помех в максимально широком диапазоне частот необходимо использование по крайней мере трех последовательно установленных

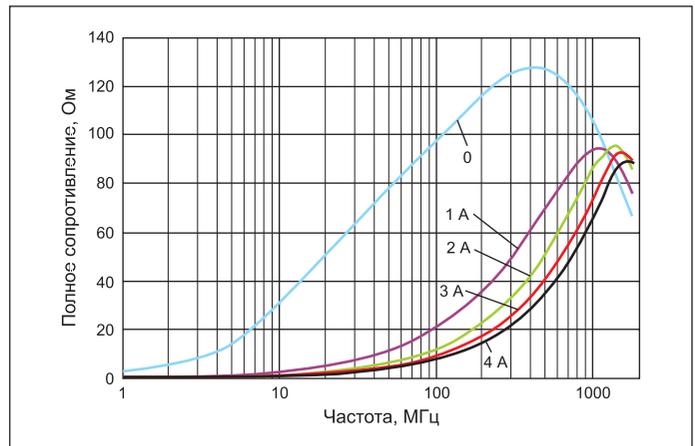


Рис. 10. Влияние постоянной составляющей в токе фильтра на его характеристики

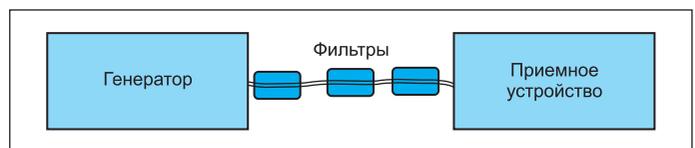


Рис. 11. Установка для проверки эффективности фильтров на основе ФЭ

ных на одном проводе (кабеле) фильтров, выполненных из различных материалов, обеспечивающих максимальные значения полного сопротивления фильтров, лежащие в области низких частот (0,1 МГц), средних частот (300–500 МГц) и высоких частот (2–2,45 ГГц). Применение трех последовательно установленных на одном проводе фильтров решает также проблему резонанса, поскольку у трех фильтров с различными характеристиками будут и существенно отличающиеся резонансные частоты.

2. Данные производителей могут быть использованы лишь для предварительного отбора фильтров, после которого должно быть проведено испытание эффективности подавления помех выбранными фильтрами во всем интересующем потребителя диапазоне частот и токов.

Такое испытание может быть реализовано на установке, содержащей высокочастотный генератор, имитирующий сигнал помехи с реальным частотным диапазоном, и приемное устройство, в качестве которого может служить осциллограф, анализатор спектра и даже электронный вольтметр с расширенным частотным диапазоном. Генератор соединяется с входом приемного устройства с помощью кабеля с установленными на нем фильтрами (рис. 11). На основе измерения выходного напряжения генератора в необходимом спектре частот без фильтров и с установленными на кабеле фильтрами можно судить о степени ослабления сигнала фильтрами, подобрать набор фильтров, обеспечивающих необходимое затухание высокочастотного сигнала, убедиться в отсутствии резонанса во всем рабочем диапазоне частот. ■