

Повышение качества подавления помех в цепях питания с помощью фильтров БЗ6

Д. Махин¹, А. Сизиков²

УДК 621.396.669.8:621.319.4 | ВАК 2.2.2

В 2020 году завод «Кулон» – один из ведущих российских производителей керамических пассивных электронных компонентов – завершил разработку линейки проходных помехоподавляющих фильтров для поверхностного монтажа БЗ6. Сейчас предприятие выпускает данные компоненты серийно. В статье описываются конструкция проходных трехконтактных фильтров и преимущества, которыми они обладают в сравнении с классическими многослойными керамическими чип-конденсаторами при подавлении помех по цепям питания, а также приводятся характеристики фильтров серии БЗ6 производства ООО «Кулон».

ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ БЛОКИРОВОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

С увеличением рабочих частот, снижением напряжения питания и ростом потребляемой мощности в современных электронных устройствах особую актуальность приобретает защита от помех по цепям питания. В момент переключения состояния цифровые схемы образуют импульсную помеху в цепи питания, которая может негативно сказаться на соседних компонентах и привести к ошибкам в их работе.

Подобного рода помехи возникают из-за активного и индуктивного сопротивления проводников, связывающих нагрузку, в роли которой выступает цифровая схема, с источником питания. Для борьбы с этим явлением используют конденсаторы, установленные между общей шиной и проводником питания, называемые блокировочными, поскольку они блокируют распространение помехи от нагрузки за счет того, что их сопротивление на высоких частотах мало, и импульсная помеха ими шунтируется. При этом на постоянную составляющую напряжения они влияния практически не оказывают, так как их сопротивление при нулевой частоте (постоянном токе) велико, в идеале – бесконечно. Принцип работы блокировочных конденсаторов упрощенно показан на рис. 1.

На качество подавления помех в цепях питания влияют паразитные параметры конденсаторов, в особенности на высоких частотах. Уменьшение данного влияния в некоторых случаях достигается за счет применения материалов с лучшими свойствами, но в значительной степени улучшить подавление помех можно с помощью

конструкторских решений. Это привело к созданию специализированных конденсаторов, предназначенных именно для этой цели, в частности – трехконтактных проходных керамических фильтров.

ПАРАЗИТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНДЕНСАТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ

Модуль импеданса идеального конденсатора имеет чисто емкостной характер и определяется известной формулой:

$$|Z_c| = \left| \frac{1}{j\omega \cdot C} \right| = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}, \quad (1)$$

где f – частота, C – емкость конденсатора.

Поскольку из этой формулы следует, что сопротивление на низких частотах тем меньше, чем больше емкость конденсатора, а любая составляющая сигнала в цепи питания со сколь угодно низкой частотой, отличной

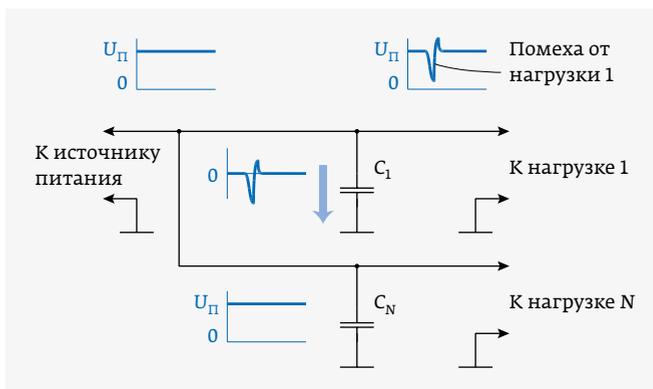


Рис. 1. Принцип работы блокировочного конденсатора

¹ ООО «Кулон», главный конструктор, mahin@kulon.spb.ru.

² ООО «Кулон», коммерческий директор.

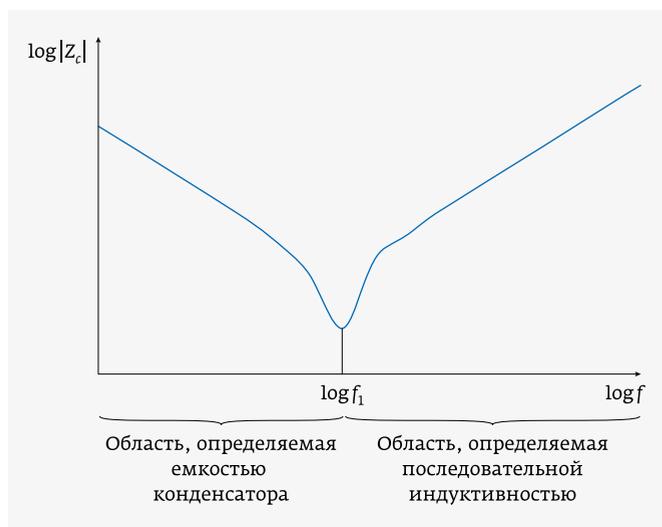


Рис. 2. Схематичная зависимость модуля импеданса конденсатора от частоты

от нуля, является помехой, чем больше емкость конденсатора, тем лучше с точки зрения подавления помех.

Однако если исследовать зависимость модуля импеданса реального конденсатора от частоты, то можно увидеть, что до определенного значения частоты f_1 он падает примерно в соответствии с формулой (1), а затем начинает повышаться, как показано на рис. 2.

Такая зависимость импеданса от частоты определяется тем, что реальный конденсатор имеет ряд паразитных характеристик. С их учетом, эквивалентную схему прибора можно представить так, как показано на рис. 3.

На рост модуля импеданса после частоты f_1 влияет эквивалентная последовательная индуктивность $L_{\text{ЭП}}$.

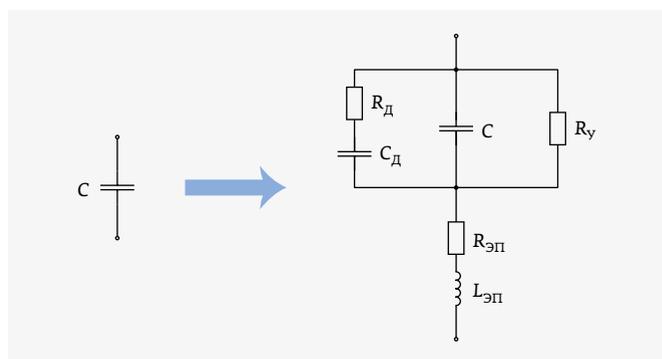


Рис. 3. Эквивалентная схема конденсатора. $R_{\text{д}}$ и $C_{\text{д}}$ – сопротивление и емкость диэлектрической абсорбции, $R_{\text{ЭП}}$ и $L_{\text{ЭП}}$ – эквивалентные последовательные сопротивление и индуктивность соответственно, $R_{\text{в}}$ – сопротивление утечки

Эквивалентное последовательное сопротивление $R_{\text{ЭП}}$ также оказывает негативное воздействие: его увеличение смещает график вверх вдоль оси ординат.

Емкость и сопротивление диэлектрической абсорбции $C_{\text{д}}$ и $R_{\text{д}}$ влияют главным образом на значение частоты f_1 и поведение модуля импеданса вблизи нее. Основным негативным эффектом, оказываемым сопротивлением утечки $R_{\text{в}}$ в рассматриваемом случае, заключается в снижении сопротивления конденсатора по постоянному току, чего следует избегать при работе с цепями питания.

В основном качество подавления помех по цепям питания на высоких частотах определяют параметры $R_{\text{ЭП}}$ и $L_{\text{ЭП}}$, и их значения можно уменьшить с помощью специальных конструкций конденсаторов.

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ИНДУКТИВНОСТЬ ЧИП-КОНДЕНСАТОРОВ И ТРЕХКОНТАКТНЫХ ПРОХОДНЫХ ФИЛЬТРОВ

Эквивалентные последовательные сопротивление и индуктивность определяются проводниками, входящими в состав конденсатора. Чем длиннее путь, который должен пройти ток от одного внешнего контакта компонента до другого, тем, при прочих равных, больше значения $R_{\text{ЭП}}$ и $L_{\text{ЭП}}$. Упрощенно это проиллюстрировано на примере многослойного керамического конденсатора на рис. 4.

Как видно из рис. 4, индуктивности и активные сопротивления в соседних слоях металлизации оказываются соединены последовательно и будут складываться при учете их в значениях $R_{\text{ЭП}}$ и $L_{\text{ЭП}}$. Иными словами, ток, протекая через конденсатор, проходит весь путь от одного контакта компонента к другому.

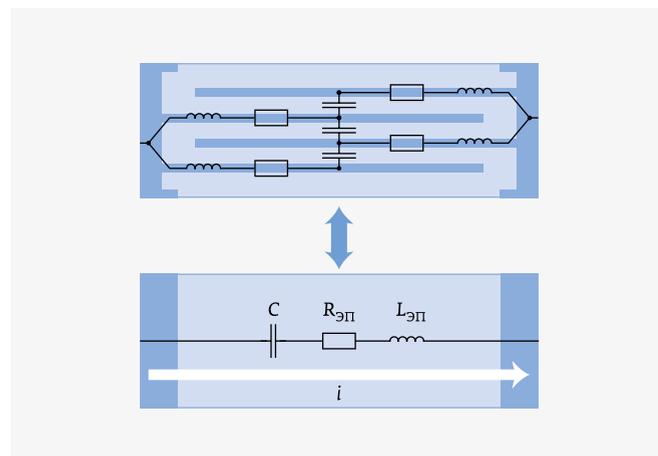


Рис. 4. Схема образования эквивалентных последовательных сопротивления и индуктивности и путь протекания тока помехи в многослойном керамическом конденсаторе

В трехконтактных проходных фильтрах Б36 производства ООО «Кулон» применяется другая конструкция. При их разработке за основу была взята базовая схема, используемая в проходных фильтрах ведущих зарубежных производителей. Применение этого подхода позволяет, в частности, снизить значение $L_{ЭП}$ на порядок в сравнении с обычными керамическими чип-конденсаторами.

Данная конструкция схематично показана на рис. 5. Как видно из рисунка, слои металлизации соединяются по очереди с торцевыми (1 и 2) и центральными (3) контактами компонента (рис. 5в). Таким образом контакты 1 и 2 оказываются электрически соединены между собой, а емкость образуется между торцевыми и центральными контактами. Благодаря этому в каждой паре слоев образуется четыре параллельных пути протекания тока помехи (рис. 6). Эти пути значительно короче, чем у обычного керамического чип-конденсатора, что приводит к снижению величин эквивалентных последовательных

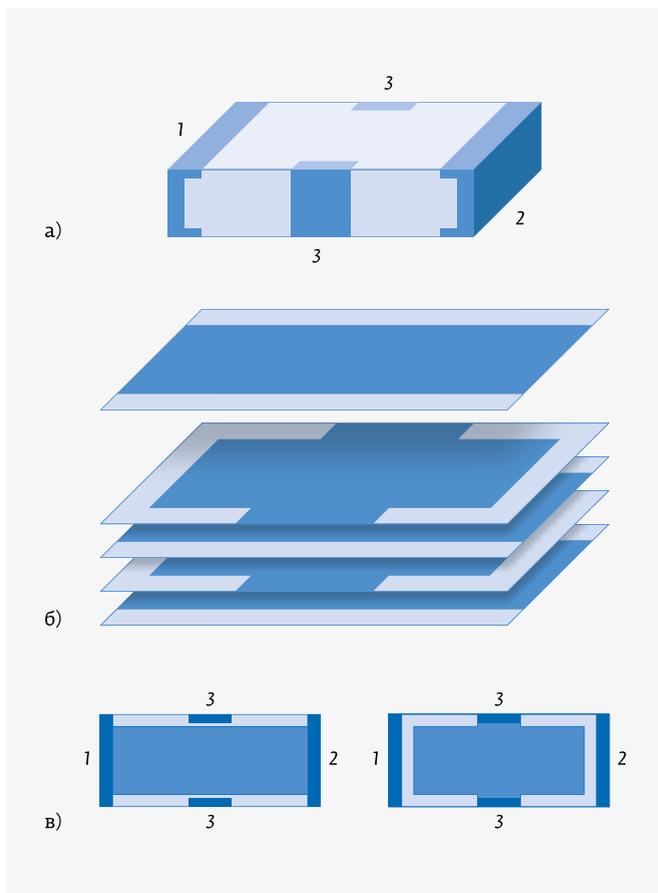


Рис. 5. Схема расположения контактов (а), металлизации слоев (б) и присоединения слоев к контактам (в) трехконтактных проходных керамических фильтров Б36. Металлизация слоев показана более темным цветом

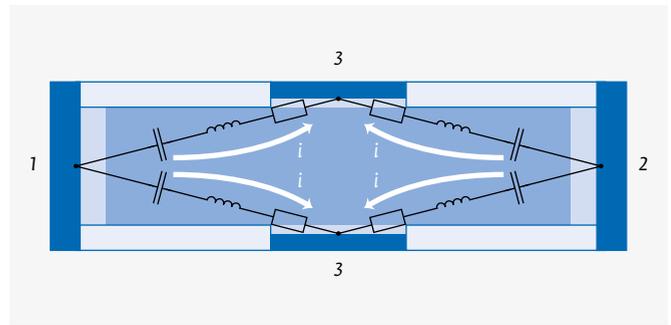


Рис. 6. Образование четырех параллельных путей протекания тока в трехконтактном проходном керамическом фильтре

сопротивления и индуктивности компонента. Кроме того, поскольку эти пути параллельны, их общие сопротивления и индуктивности еще более уменьшаются в соответствии с формулой для параллельного соединения ветвей:

$$(R + j\omega L)_{||} = \left(\sum_{i=1}^n (R_i + j\omega L_i)^{-1} \right)^{-1} \quad (2)$$

Меньшие значения параметров $R_{ЭП}$ и $L_{ЭП}$ у проходных керамических фильтров, чем у классических керамических чип-конденсаторов, позволяют не только повысить качество подавления помех по цепям питания, но и уменьшить количество применяемых для этих целей компонентов, экономя таким образом площадь печатной платы.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОХОДНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ Б36

Проходные помехоподавляющие фильтры для поверхностного монтажа Б36 производства ООО «Кулон» выпускаются в четырех типоразмерах: 3212М (1205), 3216М (1206), 4516М (1806) и 4532М (1812). Их электрические параметры приведены в табл. 1.

Проходные помехоподавляющие чип-фильтры Б36 производства ООО «Кулон» выпускаются серийно и поставляются как россыпью, так и в лентах на катушках для монтажа с помощью автоматов установки компонентов. Они позволяют заменить, в частности, ряд импортных компонентов серии NFM компании Murata и серии SF компании Spectrum Control. Применение трехконтактных фильтров Б36 для подавления помех в цепях питания позволяет повысить качество и надежность функционирования и снизить массогабаритные характеристики современной высокопроизводительной аппаратуры. ●

Таблица 1. Электрические характеристики проходных помехоподавляющих фильтров Б36

Типоразмер метрический	Номинальное напряжение, U_n , В	Номинальный ток, I_n , А	Группа по ТКЕ	Номинальная емкость, C_n , пФ	Максимальное вносимое затухание в диапазоне рабочих частот, A_p , не менее, дБ
3212М	16	0,3	Н20	6 800–100 000	60
	25		Н20	6 800–100 000	
	50	0,3	МПО	220–4 700	
			Н20	6 800–100 000	
			МПО	10–2 200	
			Н20	3 300–22 000	
100	0,3	МПО	68–3 300		
Н20		4 700–68 000			
3216М	16	0,3	Н20	10 000–100 000	
	25		Н20	6 800–100 000	
	50	0,3	МПО	220–4 700	
			Н20	6 800–100 000	
			МПО	68–3 300	
			Н20	4 700–68 000	
100	0,3	МПО	220–4 700		
Н20		6 800–100 000			
4516М	25	2	Н20	68 000; 100 000	
	50	0,3	МПО	330–6 800	
			Н20	10 000–47 000	
	100	0,3	Н20	68 000; 100 000	
			МПО	220–4 700	
	250	0,3	Н20	6 800–47 000	
			МПО	220–1 500	
			Н20	2 200–6 800	
МПО			220–1 500		
4532М	25	2	Н20	47 000–220 000	
	50	0,3	МПО	1 500–15 000	
			Н20	22 000; 33 000	
	100	0,3	Н20	47 000–220 000	
			МПО	1 000–15 000	
	250	0,3	Н20	22 000; 33 000	
			Н20	47 000–100 000	
			МПО	680–6 800	
Н20			22 000; 33 000		

Примечания:

1. Промежуточные значения номинальных емкостей фильтров – в соответствии с рядом Е6 по ГОСТ 28884.
2. Допускаемое отклонение номинальной емкости ΔC_n , %:
 - для группы МПО: ± 5 , ± 10 , ± 20 ;
 - для группы Н20: ± 20 , $+50/-20$.