Многослойные ферритовые элементы компании TDK EPCOS — эффективное и удобное решение проблемы ЭМС

В целом ряде приложений катушки индуктивности являются незаменимыми элементами: они предназначены для накопления энергии в DC/DC-преобразователях и инверторах, в качестве элемента фильтров, в схемах развязки по питанию. И если в некоторых областях их уникальные свойства используются в полной мере, то в других, таких как фильтры подавления электромагнитных помех (ЭМП) и элементы развязки в цепях питания, их применение затруднено, а зачастую просто нецелесообразно. В первую очередь это связано с габаритами катушек, сложностью изготовления (в первую очередь из-за намотки микропроводами на замкнутом магнитопроводе) и, как следствие, с ценой. Тогда достойной заменой традиционным катушкам индуктивностей становятся специальные многослойные ферритовые элементы. В одних случаях они могут полностью заменить катушку, в других — служить ей эффективным дополнением.

ВЛАДИМИР РЕНТЮК
Rvk.modul@gmail.com

Основа многослойных ферритовых элементов — это магнитомягкие материалы, которые отличаются низкой коэрцитивной силой, то есть намагничиваются до насыщения и перемагничиваются в относительно слабых магнитных полях. После перемагничивания они не проявляют магнитных свойств, так как состоят из хаотически ориентированных намагниченных до насыщения областей — доменов. Магнитомягкие материалы, названные ферритами и ставшие основой рассматриваемых многослойных ферритовых элементов, были разработаны в 1930 году (запатентованы в 1933-м) двумя японскими учеными — доктором Йогоро Като (Dr. Yogoro Kato) и доктором Такеши Такеи (Dr. Takeshi Takei) из токийского Технологического института (рис. 1) [1]. Эти революционные материалы, благодаря которым был достигнут существенный прорыв сначала в радиотехнике, электротехнике, а затем и в электронике, представляют собой смесь оксида железа Fe_2O_3 с оксидами других металлов, например Mn, Zn, Ni, Mg, Co, Cu. В 2009 году открытие и применение феррита было признано IEEE ключевым историческим достижением в электротехнической и электронной технике, которое оказало устойчивое и значительное влияние на промышленность и общество.

Первой в мире эти материалы начала использовать специально основанная Кензо Сайто (Kenzo Saito) в 1935 году компания Tokio Denkikagaku Kogyo KK (TDK Electronics Company, Ltd), ныне известная как TDK Corporation. С тех пор компания TDK остается одним из ведущих производителей, успешно работающих в этой области. Ее позиции по выпуску элементов из ферритовых материалов значительно усилились в 2008 году после приобретений 90% акций еще одной известной компании EPCOS AG (Electronic Parts and Components).

В общем случае ферритовые чип-элементы, заменяющие в ряде приложений традиционные катушки индуктивности, изготавливаются путем спекания листов ферритового материала с нанесенными на них проводниками, образующими своеобразную обмотку (рис. 2).

Считать данные элементы катушками индуктивности некорректно — по своей природе они больше соответствуют таким хорошо известным элементам, используемым для подавления ЭМП, как ферритовые бусинки (в англ. терминологии их часто называют bead — «бусинка»), но отличаются от них наличием ярко выраженной индуктивной составляющей импеданса, проявляющейся на низких частотах. Кроме того, их применение на печатных платах значительно удобнее, особенно когда дело касается автоматического монтажа, поскольку рассматриваемые многослойные ферритовые элементы по-

Рис. 1. Изобретатели ферритов Йогоро Като и Такеши Такеи

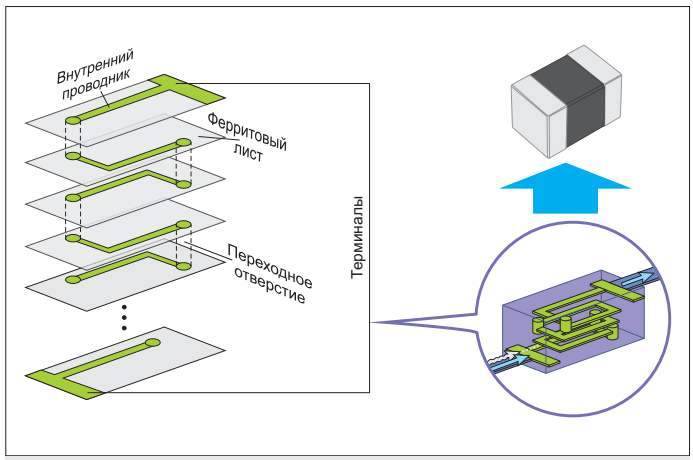


Рис. 2. Пример традиционного исполнения многослойной ферритовой структуры в виде чип-элемента поверхностного монтажа

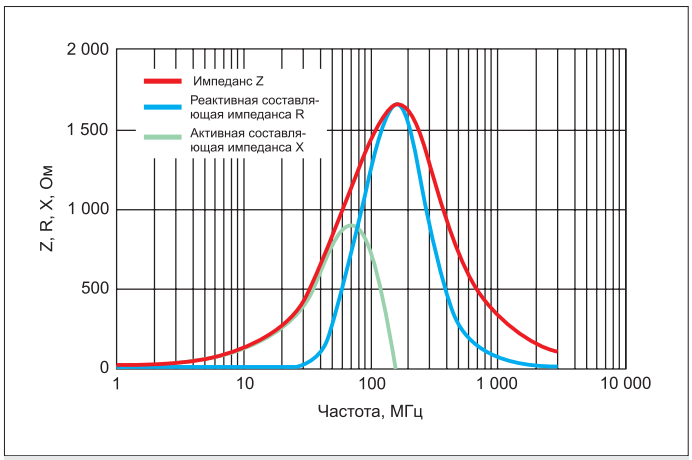
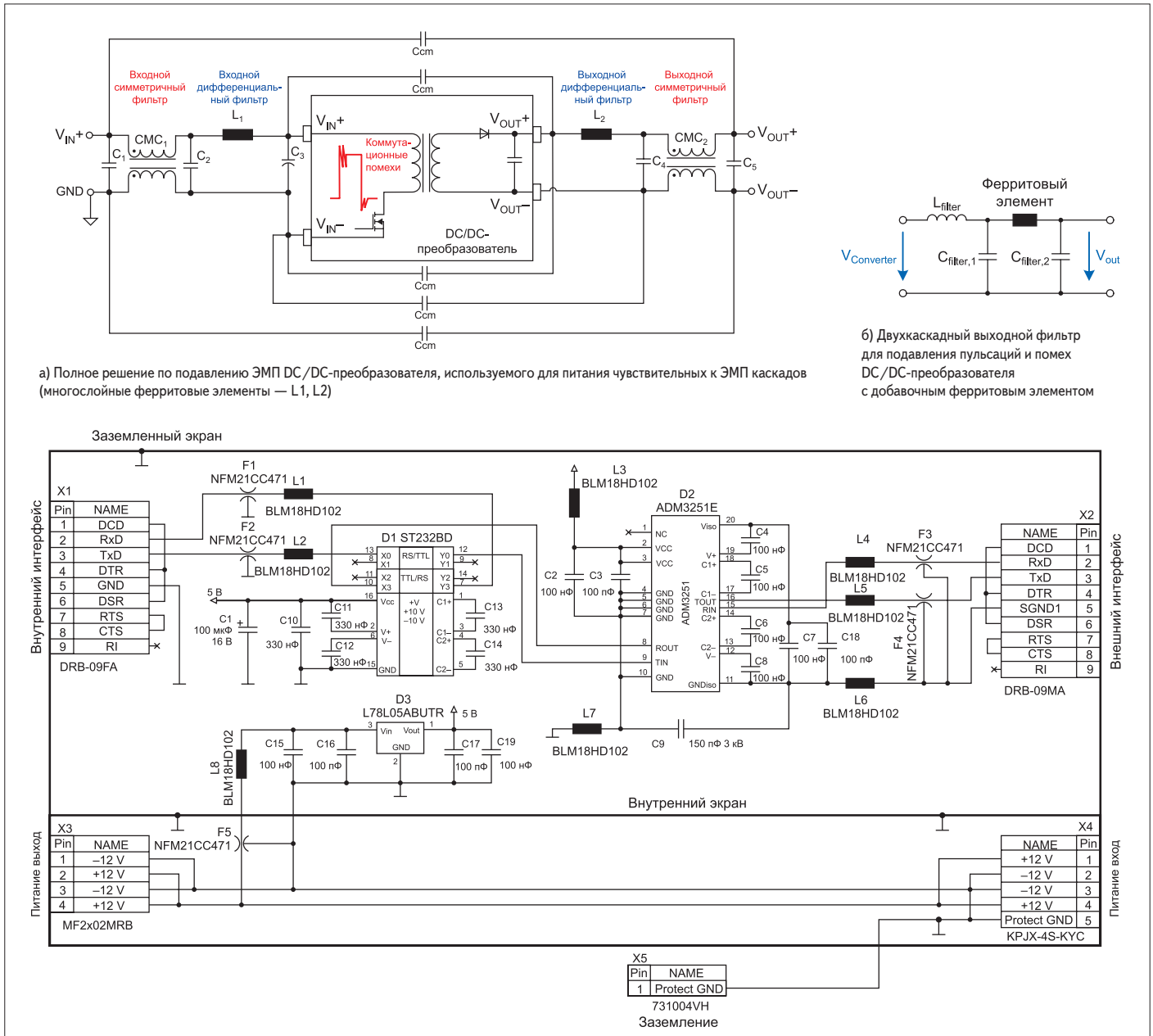


Рис. 3. Частотные характеристики типового многослойного ферритового элемента



а) Полное решение по подавлению ЭМП DC/DC-преобразователя, используемого для питания чувствительных к ЭМП каскадов (многослойные ферритовые элементы — L1, L2)

б) Двухкаскадный выходной фильтр для подавления пульсаций и помех DC/DC-преобразователя с добавочным ферритовым элементом

в) Практическая схема блока изолированного интерфейса RS-232 с минимизированным уровнем излучаемых и кондуктивных ЭМП (многослойные ферритовые элементы — L1–L8)

Рис. 4. Практические примеры применения многослойных ферритовых элементов

ставляются и монтируются аналогично чип-конденсаторам с тем же температурным профилем и мерами предосторожности.

Отличительная черта и высокая эффективность использования многослойных ферритовых элементов связана с поведением их импеданса. Импеданс (Z), который является основной характеристикой этих элементов, представляет собой комбинированное реактивное сопротивление (X) и активное сопротивление (R). Компоненты реактивности доминируют в низкочастотном диапазоне и функционируют как катушки индуктивности, отражая ЭМП. На более высоких частотах из-за роста потерь на перемагничивание сопротивление возрастает, и элементы действуют как активное сопротивление, которое преобразует ЭМП в тепло, поглощая ее. Именно такой характер рассматриваемых элементов не позволяет приравнивать их к традиционной индуктивности, а параметры элемента задаются не в единицах индуктивности, а как зависимость его сопротивления от частоты. На рис. 3 показаны частотные характеристики импеданса типового многослойного ферритового элемента.

Основная область применения описанных элементов — подавление дифференциальных электромагнитных помех, которые по своей природе являются наиболее критическими с точки зрений обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств. Причем это касается не только и не столько внешних воздействий, а именно устранения дифференциальных ЭМП помех внутри радиоэлектронной аппаратуры. Для этого многослойные ферритовые элементы устанавливаются на цепи питания, блокируя помехи, присущие DC/DC-преобразователям, причем как по входу, так и по выходу (в данном случае они могут дополнять катушки индуктивности), что зависит от топологии конкретного преобразователя. Иногда эти элементы используются на выходе усилителей класса D, на шинах тактовой частоты и на линиях связи высокоскоростных интерфейсов (в этом случае они, как правило, используются вместе с синфазными дросселями). Что касается интерфейсов в целом, то наиболее более часто они применяются на линиях передачи питания, например USB. В последнее время, благодаря расширению эффективной полосы частот и расширению рабочего температурного диапазона, многослойные ферритовые элементы находят применение в смартфонах, планшетах, ноутбуках, ресиверах цифрового телевидения, а также в интеллектуальных сенсорных сетях и промышленном оборудовании. Кроме того, они распространены в оборудовании для закрытых каналов связи, чувствительном к использующим высокоскоростные сигналы устройствам LTE и Wi-Fi большого радиуса действия. Такие элементы находят применение в выходных каскадах передатчиков и в специальном исполнении, как ограничители бросков тока. Примеры основных решений, в которых установлены рассматриваемые элементы можно найти в [2–4], часть из типовых применений приведена на рис. 4.

В последнее время разработчики радиоэлектронной аппаратуры столкнулись с новыми проблемами. Дело в том, что в современных смартфонах и планшетах стало крайне сложно решать задачи ЭМС. Эти устройства не только содержат антенны и приемо-передатчики для предоставления услуг 3G и 4G в компактной геометрии, но и предлагают все большее количество дополнительных функций, в частности WLAN, Bluetooth и GPS, а кроме того, имеют в своем составе видеокамеры и дисплеи с высоким разрешением. С точки зрения ЭМС это означает, что все они используют сигналы, которые лежат в диапазоне гигагерцевых частот и создают соответствующие им еще более высокочастотные гармоники. Результатом является более сложная электромагнитная обстановка с более высокими уровнями наведенных и излучаемых ЭМП (рис. 5) [5]. Таким образом, насущной и важной проблемой стало подавление ЭМП в области 1 ГГц и выше.

Поскольку приемные и передающие антенны оказываются расположенными очень близко друг к другу, ЭМП от генерируемых внутренних сигналов в устройстве мобильной связи может серьезно повлиять на производительность других составных частей смартфона. Даже низкий наведенный уровень на входе передатчика способен вызвать значительное увеличение входной мощности в антенне, что снижает чувствительность приема. Это может стать проблемой в местах, где сигнал базовой станции ослаблен, и даже сделать его прием невозможным. Аналогичные проблемы касаются не только смартфонов, которые приведены здесь исключительно в качестве наглядного примера, но и медицинского беспроводного оборудования, сенсоров беспроводных сетей, индустриального оборудования, устройств «Интернета вещей» — то есть всех сфер, которые используют несколько высокочастотных протоколов беспроводной связи.

Количество диапазонов частот, поддерживаемых в таких устройствах, тоже создает дополнительные проблемы. Поскольку для каждой полосы частот необходимо подавление ЭМП, количество компонентов, обеспечивающих выполнение требований в части ЭМС, соответственно увеличивается, что затрудняет удовлетворение спроса на все более миниатюрные и легкие устройства. Чтобы уменьшить количество нужных компонентов и занимаемое ими пространство, для решения проблемы ЭМС разработчики такой аппаратуры ищут очень компактные компоненты, которые при сохранении эффективности могут охватывать заданный широкий диапазон частот.

Для того чтобы соответствовать требованиям ЭМС в беспроводных и проводных устройствах следующего поколения, компания TDK расширила свою линейку многослойных ферритовых элементов тремя новыми типами [6]:

1. MMZ-1005V — предлагает самый высокий импеданс в мире в диапазоне 1 ГГц.
2. MPZ-1005E — отличается низким сопротивлением по постоянному току, высоким рабочим током и высоким импедансом.
3. MMZ-0603E — представляет собой миниатюрный вариант элемента MMZ-1005E с несколько меньшим рабочим током.

Предлагаемые компанией ферритовые элементы, выпускаемые под торговой маркой Gigaspira®, благодаря широкому диапазону частот могут обеспечить эффективное подавление ЭМП в нескольких частотных диапазонах всего одним таким чипом. Ферритовые элементы Gigaspira достигли более высокого импеданса в более широкой области частот вследствие применения запатентованной компанией TDK инновационной многослойной структуры и собственных наработок в области ферритовых материалов и технологий.

На рис. 6 показана внутренняя конфигурация традиционных многослойных ферритовых элементов и ее отличие от чипов, выполненных по технологии Gigaspira. В стандартном чипе компоненты внутреннего проводника, представляющего своеобразную катушку индуктивности (***L***) и паразитную емкость (***C***) между внутренними проводниками и внешними электродами, образуют

Рис. 5. Типичные проблемы ЭМС на примере смартфона

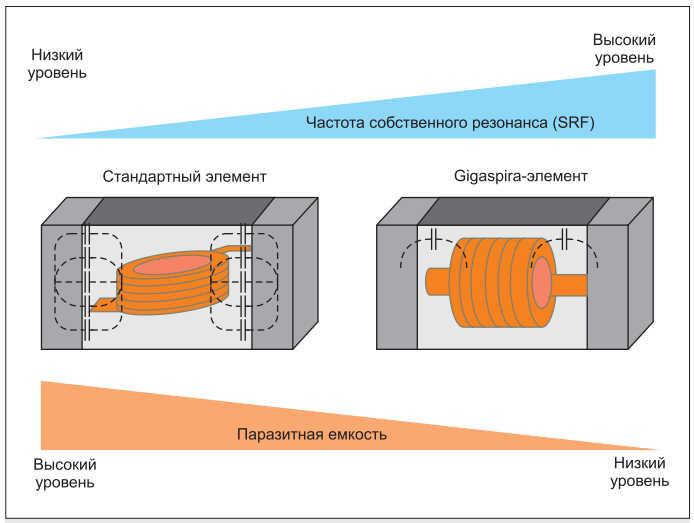


Рис. 6. Отличие технологии Gigaspira от традиционного исполнения многослойных ферритовых элементов

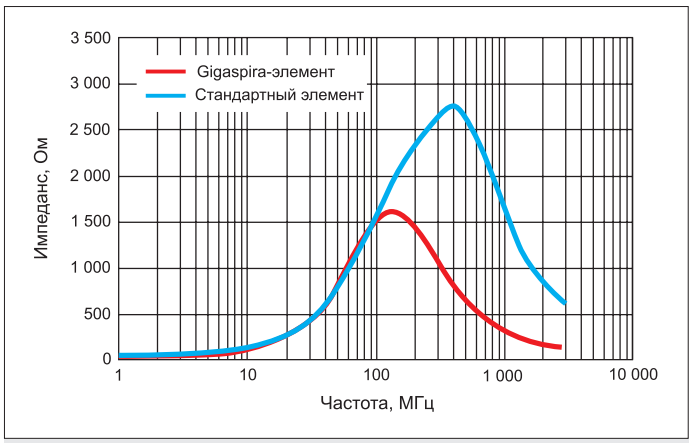


Рис. 7. Связь внутренней конфигурации с резонансной частотой (SRF)

колебательный контур с частотой собственного резонанса, определяемой как:

$$f_{SRF} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Импеданс параллельного колебательного контура в диапазоне частот выше частоты собственного резонанса (Self-resonant frequency, SRF), как известно, резко уменьшается, следовательно, и помехоподавляющие свойства элемента падают. Собственная емкость традиционных ферритовых элементов связана с ориентацией их внутренних проводников, которые выполняются параллельно плоскости элемента, что приводит к паразитной емкости между выводами (терминалами) и каждым слоем (витком) внутреннего проводника. Поскольку паразитная емкость такого конструктивного исполнения многослойного ферритового элемента достаточно велика, то его собственная частота резонанса оказывается сдвинутой в область относительно низких частот. В отличие от традиционного исполнения внутренних проводников, в технологии Gigaspira от компании TDK они реализованы перпендикулярно плоскости основания и экранированы от терминалов магнитным материалом, что позволяет значительно уменьшить суммарную паразитную емкость и тем самым сдвинуть частоту собственного резонанса в область относительно более высоких частот (рис. 7) [6].

Дополнительным преимуществом продольной ориентации обмотки является то, что она предоставляет возможность увеличивать количество витков катушки и, следовательно, по сравнению с традиционной технологией, достичь более высокого импеданса. Повышение импеданса в высокочастотном диапазоне и позволяет подавлять ЭМП там, где стандартные элементы были бы неэффективны. В итоге многослойные ферритовые элементы Gigaspira представляют собой высокоэффективные компоненты для решения проблем ЭМС в смартфонах и других мобильных устройствах, которые используют различные полосы частот связи. Результаты измерения уровня подавления ЭМП подтверждают превосходный эффект от применения компонентов технологии Gigaspira (рис. 8).

Благодаря специальной конструкции катушек ферритовые элементы технологии Gigaspira компании TDK имеют более высокие значения импеданса, причем в очень широком частотном диапазоне по сравнению с традиционными компонентами, а потому обеспечивают гораздо лучшее подавление ЭМП. В таблице приведена подборка семейств MMZ и MPZ многослойных ферритовых элементов компании TDK, которая поможет разработчику сориентироваться в их многообразии и упростит выбор. Полная информация по коммерчески доступной номенклатуре и характеристикам описанных в настоящей статье компонентам доступна на сайте компании по ссылке [7] и у ее авторизованных дилеров.

В 1935 году компания TDK со своим первым инновационным продуктом — ферритовым материалом под названием «оксидные кольца» для использования при изготовлении трансформаторов и катушек индуктивности стала первой компанией в мире, начавшей работать в области практического применения ферритов. С самого начала деятельности приоритетом компании стали инновационные разработки в области улучшения потребительских свойств ферритовых материалов и поиск новых областей их практического применения в электронной технике. В настоящее время компания является одним из крупнейших в мире производителей электронных компонентов,

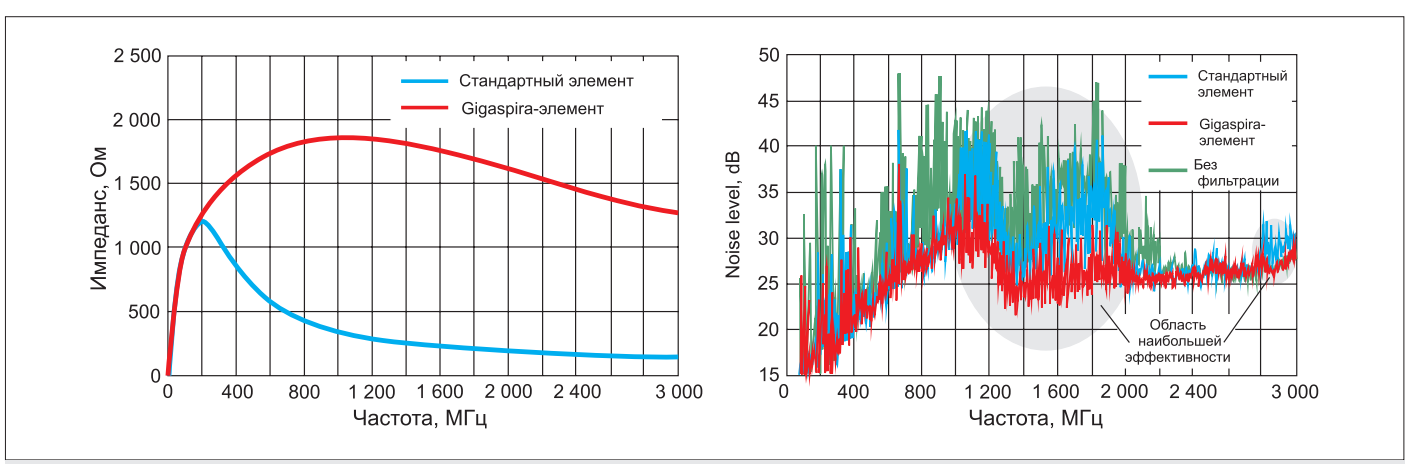


Рис. 8. Подавление ЭМП ферритовыми элементами Gigaspira компании TDK по сравнению с традиционными

Таблица. Основные характеристики многослойных ферритовых элементов семейства MMZ и MPZ компании TDK

Категория		EIA 01005	EIA 0201	EIA 0402	EIA 0603	EIA 0805
Сигнальные линии	Стандартные	MMZ0402 10–240 Ом (100 МГц) 200–750 мА	MMZ0603 10–600 Ом (100 МГц) 100–1000 мА	MMZ1005 10–1800 Ом (100 МГц) 100–550 мА	MMZ1608 3–2500 Ом (100 МГц) 200–1500 мА	MMZ2012 15–2000 Ом (100 МГц) 400–1500 мА
	Малое DC-сопротивление	–	MMZ0603-H 80–1000 Ом (100 МГц) 200–520 мА	MMZ1005-H 80–1000 Ом (100 МГц) 360–800 мА	–	–
	Подавление ВЧ-помех	–	MMZ0603-E 33–1000 Ом (100 МГц) 200–2300 Ом (1 ГГц) 125–250 мА	MMZ1005-E 47–2200 Ом (100 МГц) 800–5000 Ом (1 ГГц) 150–300 мА	–	–
	Высокое подавление ВЧ-помех	–	MMZ0603-V 56 Ом (100 МГц) 500 Ом (1 ГГц) 125 мА	MMZ1005-V 75–180 Ом (100 МГц) 500–1200 Ом (1 ГГц) 150–250 мА	–	–
Шины питания	Стандартные	MPZ0402 10–33 Ом (100 МГц) 550–1100 мА	MPZ0603 22–47 Ом (100 МГц) 500–1000 мА	MPZ1005 10–120 Ом (100 МГц) 1200–3000 мА	MPZ1608 26–1000 Ом (100 МГц) 800–6000 мА	MPZ2012 30–1000 Ом (100 МГц) 1500–6000 мА
	Малое DC-сопротивление	–	–	MPZ1005-H 33–120 Ом (100 МГц) 2000–3000 мА	–	–
	Подавление ВЧ-помех	–	–	MPZ1005-E 33–330 Ом (100 МГц) 200–800 Ом (1 ГГц) 450–1500 мА	–	–
	Высокое подавление ВЧ-помех	–	–	MPZ1005-V/N 10–30 Ом (100 МГц) 60–170 Ом (1 ГГц) 600–1200 мА	–	–

Примечание: EIA — типоразмер в дюймах; в обозначении MMZ указан их метрический размер (пример расшифровки: 0402 = 0,4×0,2 мм)

который имеет свыше 130 офисов и заводы более чем в 30 странах по всему миру.

Описанные компоненты доступны от авторизованного дилера TDK Corporation, компании «Промэлектроника» — одного из крупнейших складов электронных компонентов в Российской Федерации. Оптовые и розничные поставки указанных в настоящей статье компонентов осуществляются со склада и под заказ [8, 9].

Литература

1. www.global.tdk.com/ir/ir_library/annual/2016/html/abouttdk/1/index.html
2. Робертс С. Решения проблемы пульсаций и помех DC/DC-преобразователей: входная и выходная фильтрация // Компоненты и технологии. 2015. № 8.
3. Рентюк В. Проблемы влияния выходного фильтра на контур управления, или Как фильтровать выходное напряжение без потерь // Компоненты и технологии. 2018. № 7.
4. Рентюк В. Организация питания индустриальных компьютеров от шин напряжения постоянного тока // Компоненты и технологии. 2015. № 2.
5. Gigaspira Beads MMZ-E, MMZ-V & MPZ-E series. www.product.tdk.com/info/en/techlibrary/archives/techjournal/vol21_mmz/index.html
6. Effective EMC solution with a single component. www.en.tdk.eu/tdk-en/373562/tech-library/articles/applications--cases/applications--cases/effective-emc-solution-with-a-single-component/993434
7. www.product.tdk.com/info/en/products/emc/emc/beads/index.html
8. www.promelec.ru/search/?search=MPZ&st=2
9. www.promelec.ru/search/?search=MMZ&st=2

Компания IC-Contact
представляет широкую линейку компонентов
для защиты от перенапряжений

TDK

- Газонаполненные разрядники различных типов;
- Металлооксидные варисторы монолитные и многослойные;
- КераДиоды (CeraDiode®) — полупроводниковые компоненты для защиты от электростатических разрядов (ESD-защита). Экономически и технически более эффективная альтернатива для супрессоров и стабилитронов.

iC Contract

www.ic-contract.ru
info@ic-contract.ru
тел.: (343) 372-92-30

ГРУППА КОМПАНИЙ
ПРОМЭЛЕКТРОНИКА