

ФИЛЬТРАЦИЯ ШУМА С ПОМОЩЬЮ МНОГОСЛОЙНЫХ ЧИП-БУСИН WE-MPSB

РАНЖИТ БРАМАНПАЛЛИ (RANJITH BRAMANPALLI), Würth Elektronik eiSos

Источники питания часто проектируются для работы в установившемся режиме, а их функционирование при переходных процессах учитывается позже. На практике условия работы при переходном процессе, возникающие, например, при включении или выключении устройства, а также при изменении нагрузки, оказывают намного большее воздействие на компоненты источника питания, чем в установившемся режиме. Для подавления высокочастотного шума на входе и выходе источников питания устанавливаются ферритовые бусины. Конструктивно они выполнены либо для монтажа на кабель, либо для монтажа на плату. В последнем случае мы будем называть их чип-бусинами.

Можно привести наглядные примеры игнорирования переходных процессов, которые, однако, требуют самого тщательного учета. При включении источника питания или ШИМ-модуля для управления светодиодными драйверами возникает бросок тока. Необходимо, чтобы ферритовые чип-бусины, которые устанавливаются на входе и выходе источника питания для предотвращения выбросов тока при переходном процессе, имели небольшой размер, невысокую сто-

имость и высокую надежность. Эти ферриты очень хорошо фильтруют высокочастотный шум в импульсных стабилизаторах, источниками которого являются паразитные индуктивности и емкости при переходных процессах. Данный шум в диапазоне 50–500 МГц называется звоном, бросками питания или периодическим случайным шумом (PARD noise). На рисунке 1 иллюстрируется возникновение шума при коммутации, а также его появление на входе и выходе коммутационного узла.

Измеренная частота периодического случайного шума, показанного на рисунке 1, составляет 170 МГц. Если кондуктивный шум в виде сигналов, приведенных на этом рисунке, проникает в провода питающей сети или в провода, связывающие источник питания с нагрузкой, возникают излучаемые электромагнитные помехи (ЭМП).

Как правило, ферритовые бусины следует устанавливать как можно ближе к преобразователю, являющемуся источником шума. Один из эффективных способов предотвратить проникновение периодического случайного шума на выводы импульсного источника питания заключается в установке ферритовых бусин последовательно его входам и выходам. Кроме того, бусины должны располагаться как можно ближе к краю печатной платы или к положительным и отрицательным выводам источника питания, подключенным к разъемам.

Как правило, ферриты устанавливаются как можно ближе к источнику шума, т. к. данный шум наводится на проводники и кабели, не защищенные фильтрами. Однако при этом имеется большая вероятность того, что высокочастотный шум в обход ферритового компонента пройдет по паразитной емкости на земляные слои и заземление. Поскольку большинство стандартов на электромагнитную совместимость начинает ограничивать излучаемые электромагнитные помехи на частоте 30 МГц, настоятельно требуется предотвратить нежелательное излучение на входных и выходных выводах. При наличии земляного слоя или экра-



Рис. 1. Периодический случайный шум, который возникает в коммутационном узле понижающего преобразователя (сигнал синего цвета), попадает в сигнал входного напряжения (желтый цвет) и выходного напряжения (зеленый цвет)

нированного корпуса шум попадает во внутреннюю часть печатной платы в обход ферритовых бусин, как показано на рисунке 2.

Компания Würth Elektronik eiSos недавно разработала семейство ферритовых чип-бусин с высокими номинальными средними и среднеквадратичными токами, а также малым сопротивлением по постоянному току, которые были протестированы и были сертифицированы для использования в схемах с большим импульсным током. Многослойные бусины семейства WE-MPSB обеспечивают защиту от коротких импульсов тока, величина которых намного превышает среднее значение.

ПУСКОВОЙ ТОК ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ

При включении источника питания все конденсаторы, подключенные к входной шине, начинают заряжаться. Блок плавного включения источника питания позволяет избавиться от быстрого нарастания тока и сгладить нарастающий фронт напряжения. Но в большинстве случаев входное напряжение увеличивается очень быстро. Например, если силовая шина 12 В (DC) (см. рис. 3) подключается с помощью механического ключа к понижающему преобразователю, скорость нарастания напряжения ограничивается только сопротивлением источника питания, а также сопротивлением и паразитной индуктивностью выводов, проводников печатной платы или переключателя.

В рассматриваемом случае оказалось, что сопротивление и индуктивность 30-см испытательного кабеля для разъемов типа «банан» (однополюсная вилка) составляет 8 мОм и 0,3 мкГн, соответственно. На практике все источники напряжения ограничены по току, но если велика выходная емкость шины 12 В (DC), величина зарядного тока при замыкании механического ключа может легко превысить 30 А (см. рис. 4).

Из рисунка 4 видно, как импульс тока с максимальной величиной около 33 А спустя 100 мкс принимает значение 5 А, соответствующее предельному значению лабораторного источника питания. Еще 200 мкс требуется на то, чтобы входные конденсаторы зарядились до заданной величины 12 В. Сравним этот сигнал с током входного источника питания в установившемся режиме:

$$I_{\text{ИСТ.,МАКС}} = \frac{V_{\text{ВЫХ.}} \cdot I_{\text{ВЫХ.,МАКС.}}}{\eta \cdot V_{\text{ВХ.,МИН.}}} = \frac{5 \text{ В} \cdot 8 \text{ А}}{0,95 \cdot 11,4 \text{ В}} = 3,7 \text{ А}$$

где η – измеренный КПД равный 95%.

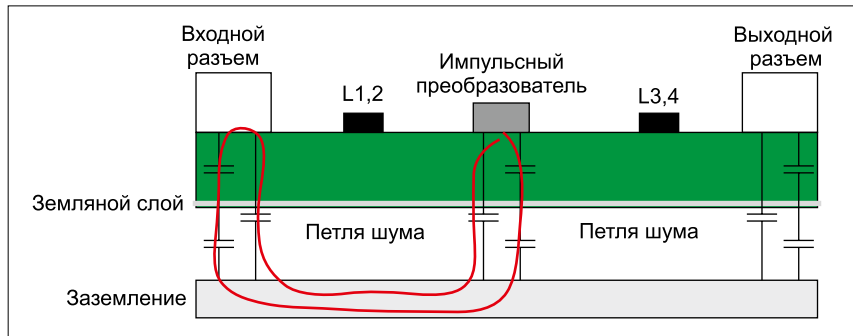


Рис. 2. Периодический и случайный шум (PARD) в обход ферритовых чип-бусин L1–L4 проникает через емкостной элемент в слой земли на плате и поступает во входной и выходной разъемы

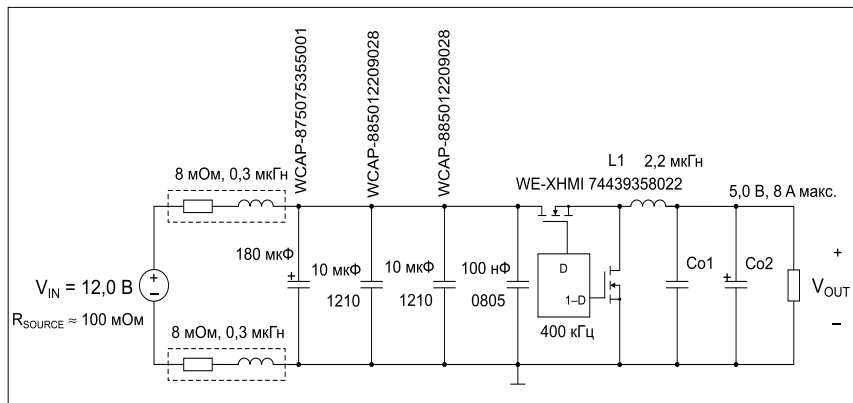


Рис. 3. Схема понижающего преобразователя с указанными значениями сопротивлений источника питания и подводящего провода, а также индуктивностей и всех входных конденсаторов

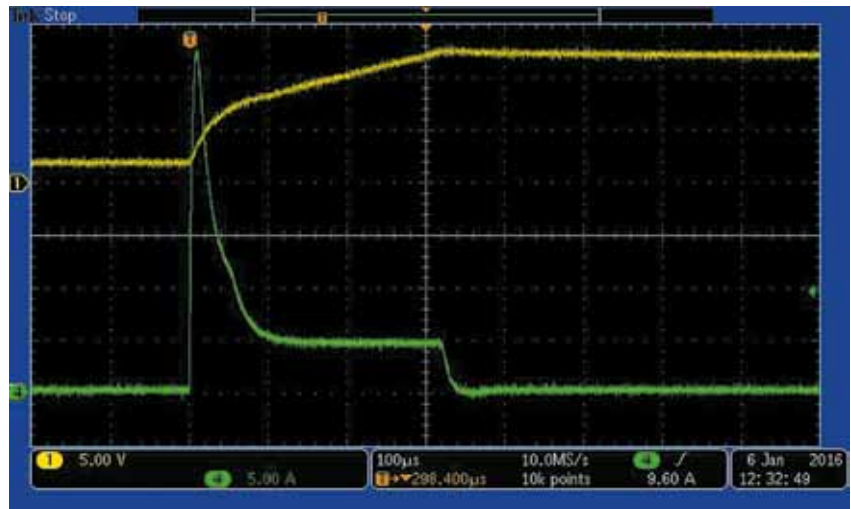


Рис. 4. Входной пусковой ток величиной 33 А при использовании шины 12 В (DC) при почти мгновенном подключении входного керамического конденсатора на 20 мкФ и 180-мкФ полимерного алюминиевого конденсатора

Разработчику предстоит найти напрашивающееся компромиссное решение. С одной стороны, все компоненты входного фильтра должны обеспечить пропускание токов большой величины, которые возникают при каждом включении преобразователя. С другой стороны, если выбрать ферритовые бусины с таким запасом, чтобы они без искажения пропустили большие импульсные токи, то в установившемся режиме бусины не смогут сглаживать эти токи.

ВЫБРОСЫ ТОКА ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ

Еще одни ферритовые компоненты следует установить на выходе. На выходе преобразователя имеются два полимерных алюминиевых конденсатора емкостью 330 мкФ и ESR равным 20 мОм каждый, а также два 100-мкФ многослойных керамических конденсатора с ESR около 3 мОм. Этот банк конденсаторов может быть источником больших коротких импульсов тока. Для подачи сигнала выходного напряжения 5,0 В на нагрузку с максимальным током потребления

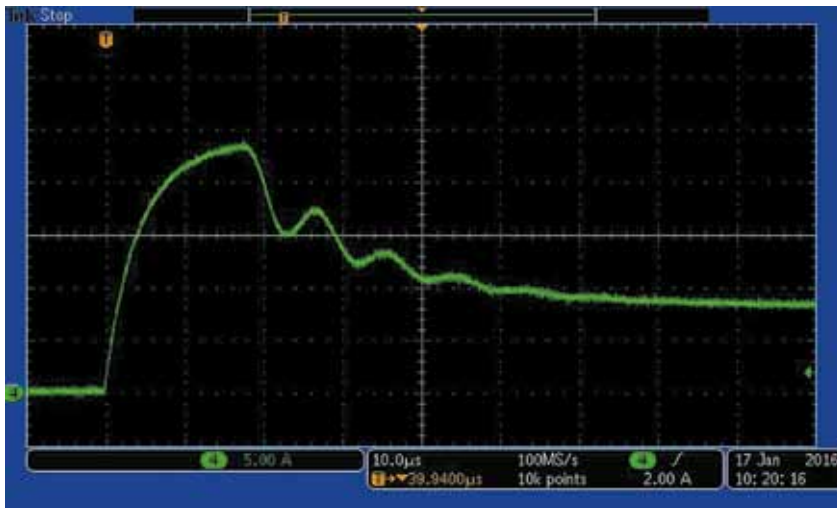


Рис. 5. Выброс тока на шине 5 В (DC) при почти мгновенном подключении 8-А нагрузки и использовании на выходе 200-мкФ керамического конденсатора и полимерного алюминиевого конденсатора емкостью 660 мкФ

8 А использовался тот же кабель длиной 30 см. Из рисунка 5 видно, что при нагрузочном токе величиной 8 А величина переднего фронта импульса при переходном процессе достигает 25 А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ БУСИН WE-MPSB

Проблемы с номинальным током в установившемся режиме

Семейство ферритовых бусин WE-MPSB работает в том же диапазоне

импедансов, что и чип-бусины стандартного семейства WE-CBF. Бусины WE-CBF обеспечивают требуемые среднеквадратичные значения (СКЗ) номинального тока, но, как и почти у всех аналогов от других производителей, эти компоненты не нормируются на номинальный импульсный ток. В рассматриваемом примере для работы с импульсами тока величиной 33 А и в установившемся режиме потребовалось бы использовать несколько бусин семейства WE-CBF, т.к. максимальное среднеквадратичное значение номинального тока у представителей этой серии составляет 6 А для типоразмеров 1806 и 1812. Только одно устройство серии WE-CBF – 742 792 245 51 с номинальным током 4 А, типоразмером 1206, сопротивлением 80 Ом при 100 МГц – может работать при токе установившегося режима, но после многократных переходных процессов при запуске системы возникают отказы,

которые приводят к разрушению таких устройств (см. рис. 6).

В нашем примере по шесть бусин подключаются параллельно к положительному и отрицательному выводам источника питания. Помимо увеличения габаритов и стоимости это решение имеет и другие недостатки. Во-первых, если в стационарном режиме через каждую из параллельных бусин будет протекать примерно одинаковый ток, то при импульсных токах равномерное распределение тока по бусинам не гарантируется из-за разброса их параметров. Во-вторых, установка нескольких компонентов параллельно друг другу приводит к тому, что суммарный импеданс ухудшается и, следовательно, ухудшается фильтрующая способность бусин.

Правильный выбор бусин WE-MPSB

В тех случаях, когда пиковый ток превышает его среднее значение в диапазоне 3:1...10:1, предпочтительнее использовать бусины WE-MPSB. В первую очередь, следует выбирать бусины из тех, которые работают с током 3,7 А (СКЗ).

Входные бусины с защитой от пикового тока

Поскольку рассматриваемое приложение рассчитано на 10 тыс. циклов коммутации в течение срока службы, бусина WE-MPSB во входном фильтре должна выдерживать 10 тыс. импульсов тока величиной 33 А. Наиболее простым и удобным способом проектирования в данном случае является использование средства REDEXPERT, в которое вводятся эти данные (см. рис. 7). Для сравнения мы рассмотрим девять других компонентов из виртуального хранилища.

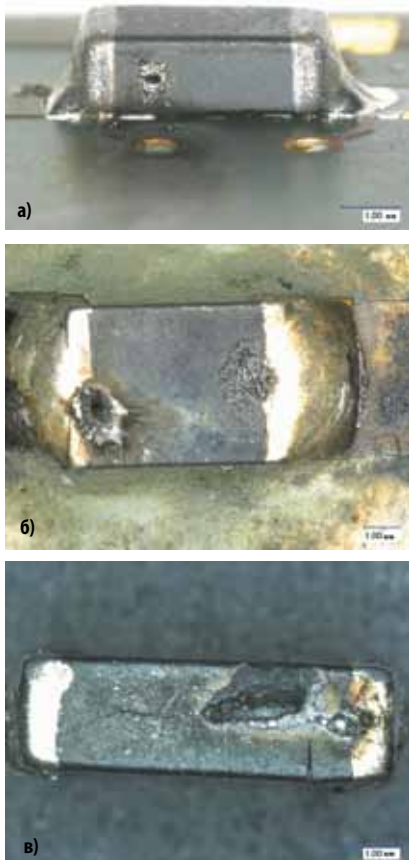


Рис. 6. Ферритовые чип-бусины, которые оплавилась и сгорели в результате перегрева после протекания больших токов

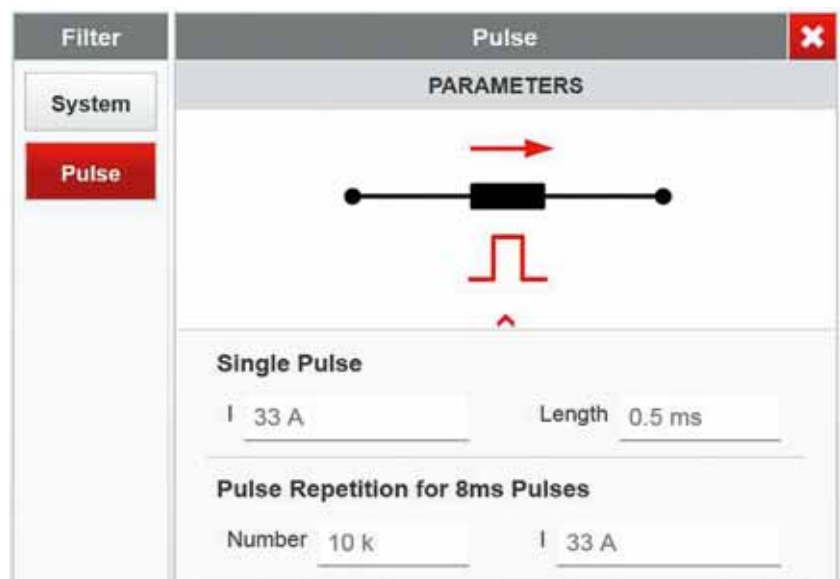


Рис. 7. В окно средства проектирования REDEXPERT вводятся значения таких параметров как длительность импульсов, их количество и максимальный ток

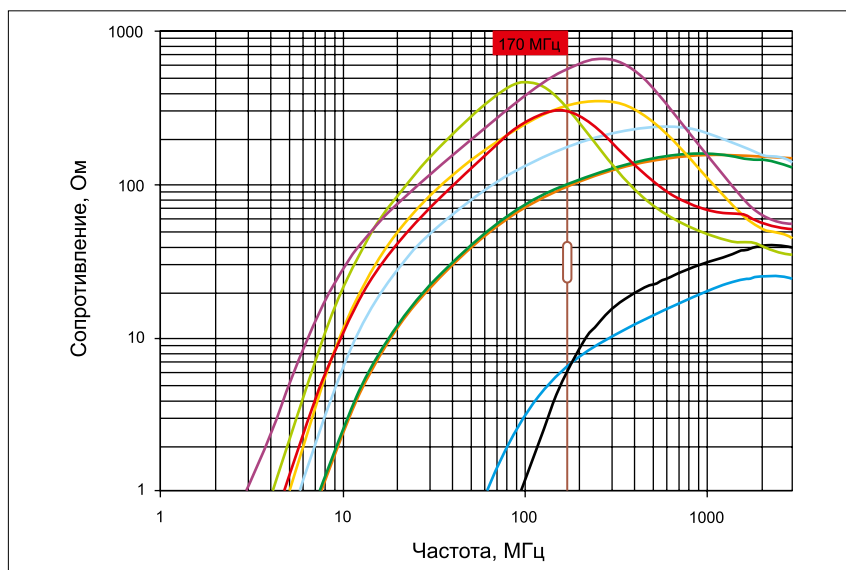


Рис. 8. С помощью средства проектирования REDEXPERT было установлено, что наилучшим выбором для рассматриваемого случая является ферритовая бусина WE-MPSB 742 792 245 51

Проверка эффективного сопротивления

Из девяти имеющихся бусин WE-MPSB мы выберем одну с наибольшим сопротивлением (а не суммарным импедансом) на частоте шума. Как правило, у ферритовых чип-бусин максимальное сопротивление наблюдается на частоте, при которой их суммарный импеданс достигает наибольшей величины, но аппроксимация для других частот невозможна. Самый быстрый способ выбрать оптимальный компонент – воспользоваться средством REDEXPERT от компании Würth Elektronik [1]. Зарегистрированные пользователи могут, установив ползунок диаграммы на значении 170 МГц (см. рис. 8), получить значения сопротивления каждой бусины из списка и даже сортировать их по убыванию этого параметра, чтобы установить, у какого компонента наибольшее сопротивление.

Из всех рассмотренных компонентов наилучшим для данного приложения оказался WE-MPSB 742 792 245 51, выделенный красным цветом. Номинальный ток этой бусины составляет 4,0 А. Она выдерживает 18700 импульсов тока величиной 33 А и длительностью 8 мс. Поскольку указанная величина намного больше длительности начального импульса 500 мкс и короткого импульса 100 мкс, обеспечивается большой запас прочности. Из всех пригодных компонентов у этой бусины наибольшее сопротивление при 170 МГц.

Выходные ферриты для работы в импульсном режиме

Среднеквадратичное значение выходного тока совпадает со средним значением выходного тока 8,0 А. При тех же требованиях имеются пять кан-

дидатов с номинальным током, превышающим 8,0 А. Поскольку все пять компонентов выдерживают 10 тыс. импульсов тока со среднеквадратичным значением выше 8 А, для окончательного выбора бусины потребуются испытания на ЭМС, чтобы определить, какая из них лучше фильтрует шум. У компонентов меньшего размера стоимость ниже, но они хуже ослабляют шум.

Тестирование выбранных компонентов

Для тестирования мы установили упомянутую выше бусину WE-MPSB 742 792 245 51 на вход, а бусину WE-MPSB 742 792 251 01 – на выход. Из рисунка 9 видно, что шум в выходном напряжении практически отсутствует.



Рис. 9. Результаты тестирования ферритовых чип-бусин: шум в выходном напряжении практически отсутствует

Проверка на излучаемые электромагнитные помехи показала, что выбранные чип-бусины эффективно подавляют периодический случайный шум. Уровень ЭМП в диапазоне 170 МГц значительно снизился.

Влияние R_{DC} на суммарный КПД

Поскольку сопротивление бусины WE-MPSB 742 792 245 51 по постоянному току равно 35 мОм, возникают дополнительные кондуктивные потери, что снижает КПД. Измерения с помощью лабораторного оборудования показали лишь небольшое уменьшение этого параметра с 95 до 94,5% для каждой ферритовой чип-бусины. Расчет КПД осуществляется с помощью следующей формулы:

$$\eta = \frac{P_{ВЫХ.}}{P_{ВХ.}} = \frac{V_{ВЫХ.} \cdot I_{ВЫХ.}}{V_{ВХ.} \cdot I_{ВХ.} + R_{DC} \cdot I_{ВХ.}^2} = \frac{5 \text{ В} \cdot 8 \text{ А}}{12 \text{ В} \cdot 3,5 \text{ А} + 35 \text{ мОм} \cdot 3,5^2 \text{ А}^2} = 94,3\%$$

Влияние смещения по постоянному току на импеданс

Как и все магнитные компоненты, ферритовые чип-бусины обладают магнитными свойствами. При увеличении постоянного тока происходит эффект насыщения, в результате которого смещается кривая импеданса (см. рис. 10). Максимальное значение индуктивности остается почти неизменным; при этом ее начальная величина уменьшается почти на 40% по сравнению со значением в отсутствие тока подмагничивания, тогда как импеданс при меньших частотах снижается примерно на 90%. В области низких частот решающую роль

играет индуктивность, которая насыщается с увеличением постоянного тока. На собственной частоте колебаний доминирует емкостная составляющая, на которую не влияет изменение постоянного тока.

Поскольку при полном нагрузочном токе это (наихудшее) изменение импеданса уже учтено в измерениях, не стоит обращать внимание на данный эффект. Заметим, что чем больше размер ферритовых чип-бусин, тем меньше смещается импеданс при увеличении постоянного тока.

ВЫВОДЫ

Ферритовые чип-бусины – наилучшие компоненты, которые позволяют уменьшить шум на частотах выше 10 МГц. В источниках питания эти компоненты следует устанавливать как можно ближе к источникам шума, в качестве которых выступают входные и выходные разъемы, чтобы отфильтровать кондуктивные ЭМП от входной и выходной линий. Поскольку

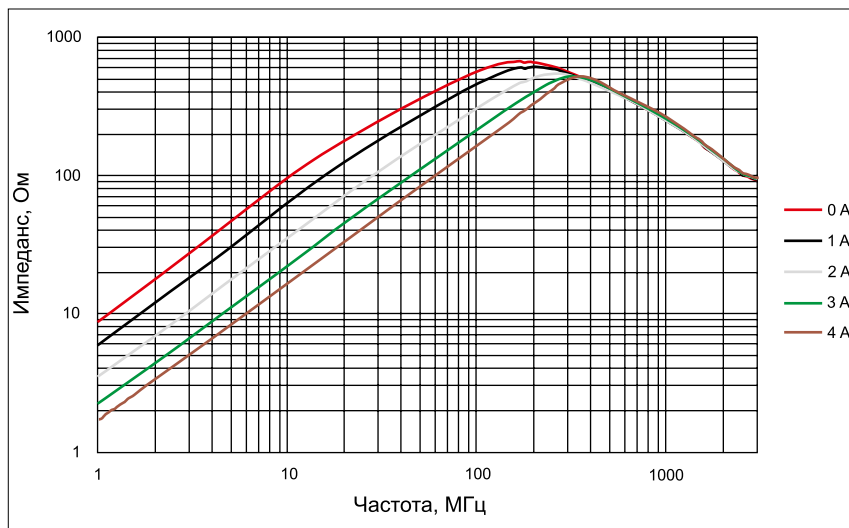


Рис. 10. Кривая импеданса бусины WE-MPSB 742 79 2 245 51 при изменении постоянного тока смещения в диапазоне 0–4 А

через ферритовые бусины на входе и выходе схемы проходят большие токи переходных процессов, следует выбирать такие компоненты, которые

на эффективность приложения и обладают высокой надежностью. ☺

ЛИТЕРАТУРА
www.weonline.com/redexpert.