

Индуктивные компоненты

в оборудовании управления и автоматики



В статье кратко рассмотрено применение индуктивных компонентов в разных видах радиоэлектронной аппаратуры. Также рассмотрены материалы, используемые для изготовления дросселей и катушек индуктивности.

ООО «Балтийская электронная компания», г. Санкт-Петербург

ООО «Балтийская электронная компания»

Катушки индуктивности различных типов сегодня используются в любом радиотехническом устройстве, и рынок этой продукции, объединенной под общим названием «моточные изделия», чрезвычайно велик. Специалисты Санкт-Петербургской «Балтийской электронной компании» (ООО «БЭК»), которая работает на рынке телекоммуникаций и электронных компонентов более 25 лет, являются экспертами по данному виду продукции. Предприятие разрабатывает и производит моточные изделия и источники питания, а также занимается поставкой радиоэлектронных компонентов зарубежного и отечественного производства, которые применяются в их производстве (ферритовые изделия, постоянные магниты и изделия из магнитов, магнитодиэлектрики и т.д.). Трансформаторы, дроссели, катушки индуктивности, дифференциальные разветвители «Балтийской электронной компании» созданы с применением передовых научно-технических достижений и находят применение в аппаратуре различного назначения. Свыше 1000 заказчиков получают продукцию петербургского производителя.

В статье поднимаются общие вопросы, которые касаются всех моточных изделий: рассмотрены некоторые возможные случаи применения индуктивностей в различных видах радиоэлектронной аппаратуры.

Применение индуктивных компонентов

Особенно широко индуктивные компоненты-дроссели и катушки индуктивности применяются в источниках вторичного электропитания

и устройствах для телекоммуникаций. Хотя в ряде случаев можно заменить индуктивные элементы другими (например, резисторами в качестве нагрузок усилительных каскадов или продольных элементов фильтров питания), ни один другой элемент не обладает свойством оказывать сопротивление переменному току (причем тем большее, чем выше частота), обеспечивая при этом минимальное сопротивление постоянному току и, следовательно, минимальные потери энергии. В конце XX века индуктивные компоненты пытались заменять другими, более дешевыми и малогабаритными. В ряде случаев эта задача была успешно решена. Так, фильтры сосредоточенной селекции на LC-контурах удалось заменить электромеханическими фильтрами и фильтрами на ПАВ, стали применяться цифровые методы фильтрации при обработке сигналов. Но даже в этих случаях перестраиваемые катушки индуктивности не утратили своего значения, особенно если частота настройки нестандартна. Кроме того, в последнее время индуктивности, не предназначенные для накопления энергии или обладающие небольшой энергоемкостью, изготавливают с габаритами и массой, сравнимыми или такими же, как у других чип-компонентов: резисторов, конденсаторов и т.д.

Ценным свойством индуктивных элементов, которое часто применяется в различных преобразователях электрической энергии, является накопление энергии в магнитном поле при прохождении по ним тока. В качестве накопителей энергии они вне конкуренции.

Наиболее часто индуктивные компоненты используют в импульсных источниках питания (рис. 1). Самые

простые понижающие DC/DC-конвертеры (рис. 2) могут содержать от одного до нескольких дросселей. Принципиально необходимым является дроссель L3, который служит сглаживающим элементом, выделяющим постоянную составляющую из последовательности импульсов. Он накапливает энергию при открытом ключевом транзисторе VT1, а во время паузы через диод VD1 отдает ее в нагрузку. Также могут применяться: один или несколько дросселей во входном однозвенном или многозвенном фильтре (L1 на рис. 2); один или несколько дросселей в выходном однозвенном или многозвенном фильтре (L4 на рис. 2). Эти дроссели работают без накопления энергии и служат для подавления шумов и помех на входе и выходе. До-

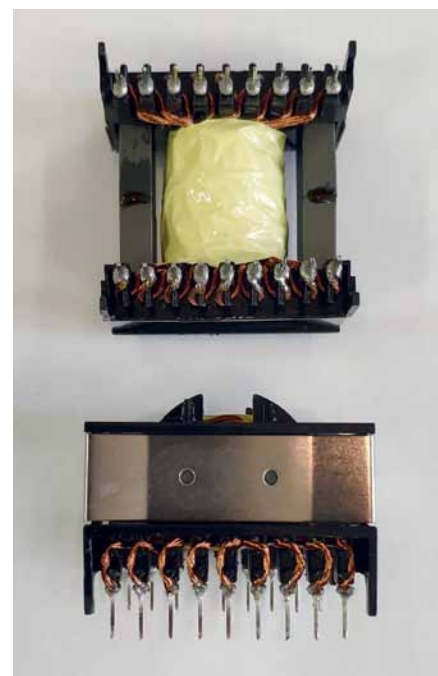


Рис. 1. Трансформаторы импульсного источника питания

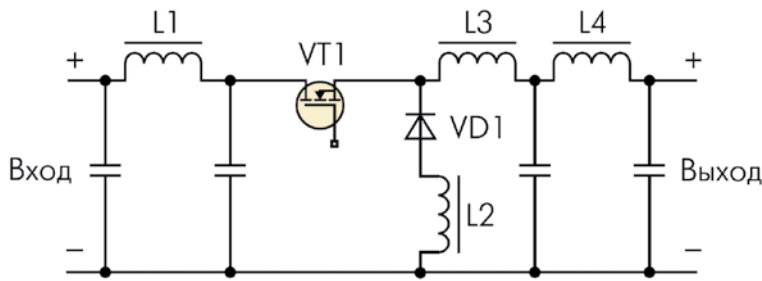


Рис. 2. Понижающий DC/DC-конвертер

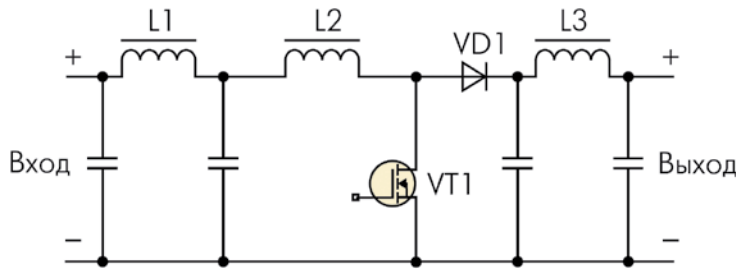


Рис. 3. Повышающий DC/DC-конвертер

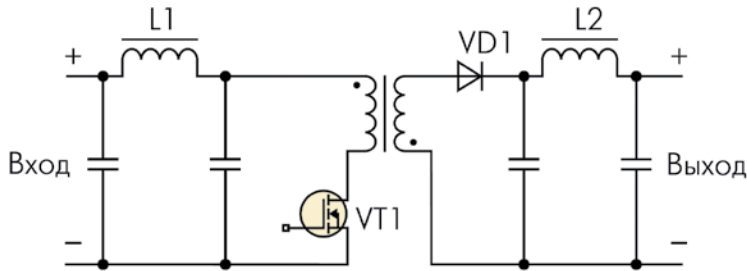


Рис. 4. Обратногоходовой DC/DC-конвертер

полнительно используется дроссель L2, который часто бывает выполнен как насыщающийся и служит для ограничения «сквозных» токов при включении транзистора VT1, обусловленных конечным временем восстановления обратного сопротивления диода VD1.

В повышающем (рис. 3) и полярно-инвертирующем DC/DC-конвертерах накопительный дроссель L2 тоже принципиально необходим. Дополнительно могут устанавливаться дроссели L1 и L3 входных и выходных фильтров. Если к фильтрации входных или выходных помех предъявляются повышенные требования, можно использовать двух- и многозвенные фильтры, хотя чаще всего применяются одно- и двухзвенные.

В однотактных обратноходовых конвертерах с гальванической развязкой (рис. 4) дроссели L1 и L2 не являются принципиально необходимыми, но, как правило, устанавливаются во входных и выходных фильтрах. Как и в предыдущих случаях, фильтры могут быть многозвенными. Функцию накопления энергии здесь выполняет

трансформатор, также осуществляющий гальваническую развязку.

Однотактные или двухтактные прямоходовые DC/DC-конвертеры

(рис. 5) обязательно имеют накопительный дроссель (L2 на рисунке), а также могут дополнительно содержать, что и бывает в большинстве случаев, дроссели входных и выходных фильтров (L1 и L3) для улучшения фильтрации напряжения на входе и выходе.

AC/DC-преобразователи могут содержать корректор коэффициента мощности (ККМ). Преимущественно он используется в устройствах средней и большой мощности. Структура и режим работы ККМ такие же, как у повышающего DC/DC-конвертера без гальванической развязки (рис. 3). В нем обязательно содержится дроссель – накопитель энергии (L2 на рис. 3). Отличие от повышающего конвертера состоит в том, что импульсы ККМ промодулированы по длительности по синусоидальному закону и на входе действует не постоянное напряжение, а выпрямленно синусоидальное. Дроссель ККМ часто имеет обмотку обратной связи. Входные и выходные дроссели в ККМ обычно не используются, фильтры шумов и помех переносятся на вход и выход AC/DC-преобразователя.

Дроссели широко применяются в сетевых фильтрах при питании от сети переменного тока. Фильтры могут быть встроены в источник питания или аппаратуру, а могут быть и внешними – предназначенными для подключения одного или нескольких

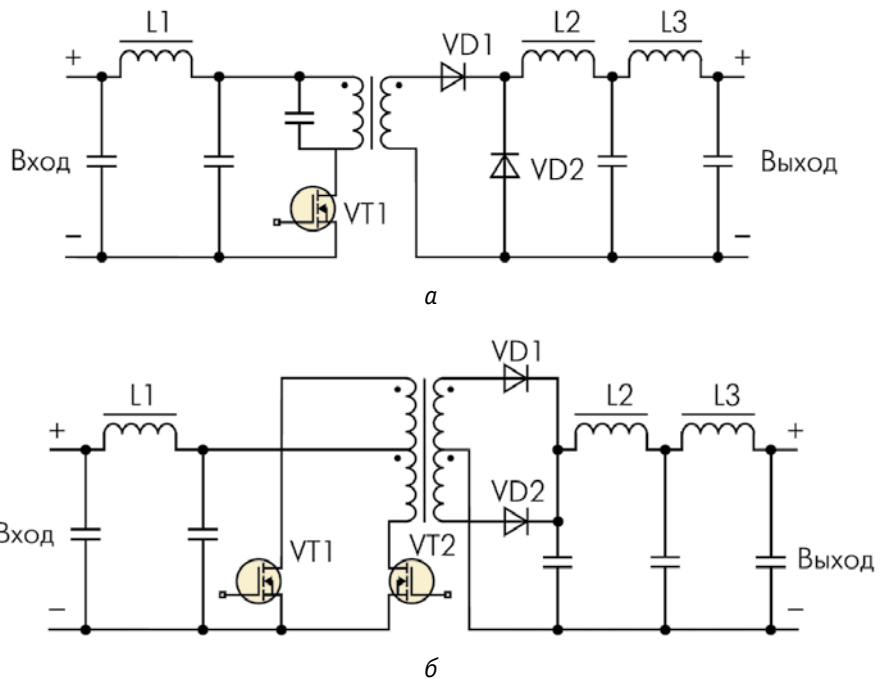


Рис. 5. Прямоходовые DC/DC-конвертеры: а – однотактный; б – двухтактный

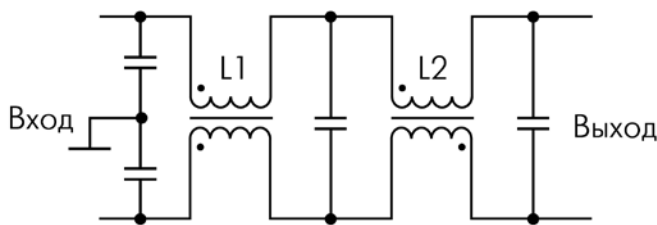


Рис. 6. Сетевой фильтр

устройств. Чаще всего фильтры используются для подключения компьютеров и офисной техники. В них применяются дроссели двух видов (рис. 6). Для подавления синфазных помех служат так называемые тококомпенсированные дроссели, имеющие две одинаковые обмотки, которые включаются встречно по отношению к току питания низкой частоты (L1 на рис. 6). Благодаря этому сердечник дросселя не подмагничивается. Для подавления дифференциальных помех предназначен дроссель с согласно включенными

обмотками (L2 на рис. 6). Этот дроссель подмагничивается током питания низкой частоты. Его можно заменить одним или двумя однообмоточными дросселями.

Дроссели являются необходимыми элементами усилителей низкой частоты (УНЧ) класса D (рис. 7). Такие усилители обладают преимуществом: их выходные транзисторы работают в ключевом режиме, обеспечивая высокий КПД при достаточно хорошем коэффициенте гармоник и довольно высокой выходной мощности — до де-

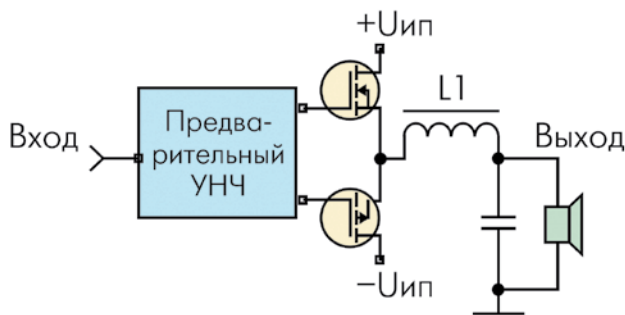


Рис. 7. УНЧ класса D

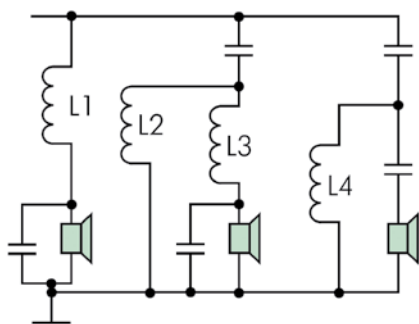


Рис. 8. Трехполосная акустическая система

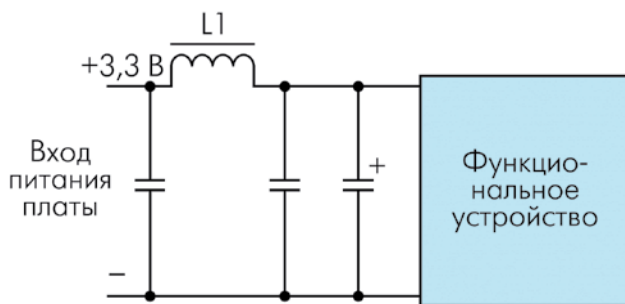


Рис. 9. Фильтр питания функциональной платы

сятков ватт. Это позволяет обходиться без радиаторов. Дроссель используется в выходном фильтре и является интегрирующим элементом — накопителем энергии. В данном случае никакой другой элемент решить эту задачу не способен. УНЧ класса D могут с успехом применяться в домашних кинотеатрах, автомобильной и переносной радиоаппаратуре, ноутбуках и т. д. Поскольку речь зашла о звукоусилении, следует вспомнить многополосные акустические системы: в них применяются частотно-разделительные фильтры, которые невозможно выполнить без индуктивных компонентов. В качестве примера на рис. 8 приведена схема трехполосной акустической системы. Обычно дроссели для таких фильтров выполняются в виде многовитковых катушек без сердечника, чтобы не вносить нелинейных искажений.

Аппаратура телекоммуникаций, как и функциональная аппаратура другого назначения, в том числе с микропроцессорами и микроконтроллерами, не обходится без индуктивных компонентов. LC-фильтр на входе питания функциональной платы (рис. 9) — лучшее решение, ведь простейший емкостной фильтр не гарантирует высокого уровня фильтрации шумов и помех, а на резисторе RC-фильтра возникает слишком заметное падение напряжения, что снижает уровень и точность питающих напряжений (к чему особенно чувствительны микропроцессорные устройства).

Кроме того, если меняется режим работы устройства, а в связи с этим и ток потребления, то при использовании RC-фильтра возникает специфическая помеха по питанию из-за падения напряжения на резисторе фильтра. В то же время дроссель, имея весьма малое активное сопротивление, почти не ухудшает качество питающего напряжения по уровню и стабильности, но оказывает весьма заметное сопротивление для переменной составляющей шумов и помех, образуя совместно с конденсатором фильтр низких частот второго порядка, работающий значительно эффективнее С- или RC-фильтра. Лишь одно условие необходимо соблюдать: собственная резонансная частота дросселя должна лежать выше рабочего диапазона частот. Фильтр может быть многозвенным. Для исключения паразит-

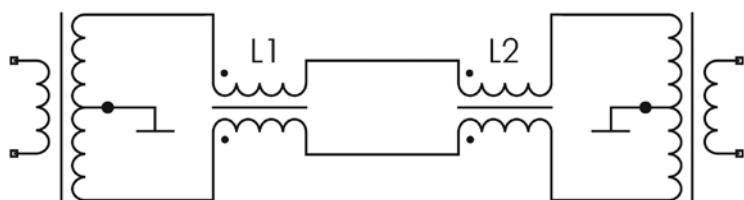


Рис. 10. Помехоподавляющие дроссели в линии связи



Рис. 11. Трансформатор на ферритовом сердечнике RM-5

ных резонансов конденсатор фильтра должен состоять из электролитического и керамического конденсаторов. Применение LC-фильтров на вводе питания функциональных плат позволяет развязать платы по питанию между собой, снизить требования к источникам вторичного электропитания по шумам и пульсациям и применить более дешевые источники.

Вполне успешно дроссели можно использовать и в цепях развязки по питанию внутри платы, для того чтобы отделять друг от друга различные каскады и узлы устройства. Особенно эффективно они будут служить при низковольтном питании 3,3 В и меньше, что достаточно часто встречается в современной аппаратуре.

В сигнальных цепях, особенно при работе на длинные соединительные линии, применяются дроссели с токовой компенсацией (рис. 10), содержащие от двух до четырех и более одинаковых обмоток, которые включаются по току сигнала встречно. Такие дроссели почти идеально подавляют синфазные (симметричные) шумы и помехи (до 60–80 дБ), оказывая незначительное сопротивление полезному сигналу.

При дистанционном питании удаленных частей аппаратуры, используя дроссели совместно с газовыми разрядниками и другими защитными элементами, можно обеспечить защи-

ту оборудования от воздействия грозы. Тококомпенсированные дроссели, установленные в сигнальных цепях, также помогают решить эту задачу.

Следует упомянуть и дроссели, применяемые в качестве индуктивной нагрузки (или части нагрузки) усилительных каскадов, особенно широкополосных и видеусилителей. В данном случае дроссели, почти не снижая напряжения питания, обеспечивают необходимое сопротивление нагрузки по переменному току, а также частотную компенсацию на верхних частотах диапазона.

И наконец, скажем о перестраиваемых или неперестраиваемых катушках индуктивности, используемых в резонансных LC-контурах (фильтр-пробках, контурах LC-генераторов, гетеродинов, преселекторов и т.д.). Хотя в последние годы LC-контуры в частотно-избирательных цепях используют все реже (их заменяют пьезокерамическими фильтрами, фильтрами на ПАВ, цифровыми устройствами фильтрации), катушки индуктивности не утратили своего значения. Они по-прежнему занимают свою нишу благодаря простоте, надежности, низкой стоимости, возможности легкого воспроизведения с нужными параметрами, что особенно важно при небольших тиражах аппаратуры. LC-контуры можно легко перестраивать на нужную частоту.

Материалы изготовления

Кратко рассмотрим материалы, применяемые для изготовления дросселей и катушек индуктивности. Поскольку индуктивные компоненты функционируют при повышенных частотах, в основном для них применяются ферриты и магнитоэлектрики. Для тококомпенсированных дросселей, в которых отсутствует подмагничивание, как для силовых цепей, так и для сигнальных, используются высокопроницаемые ферриты с начальной относительной магнитной проницаемостью от 4000 до 10 000. Сердечники применяются как тороидальные, так и U-образные, либо различные разновидности Ш-образных и броневых.

Для дросселей, работающих с подмагничиванием и являющихся накопителями энергии, обычно применяются ферритовые сердечники с зазором. Магнитная проницаемость сердечника не имеет решающего значения, так как величина индуктивности определяется преимущественно величиной немагнитного зазора. Для снижения потерь в сердечнике используются так

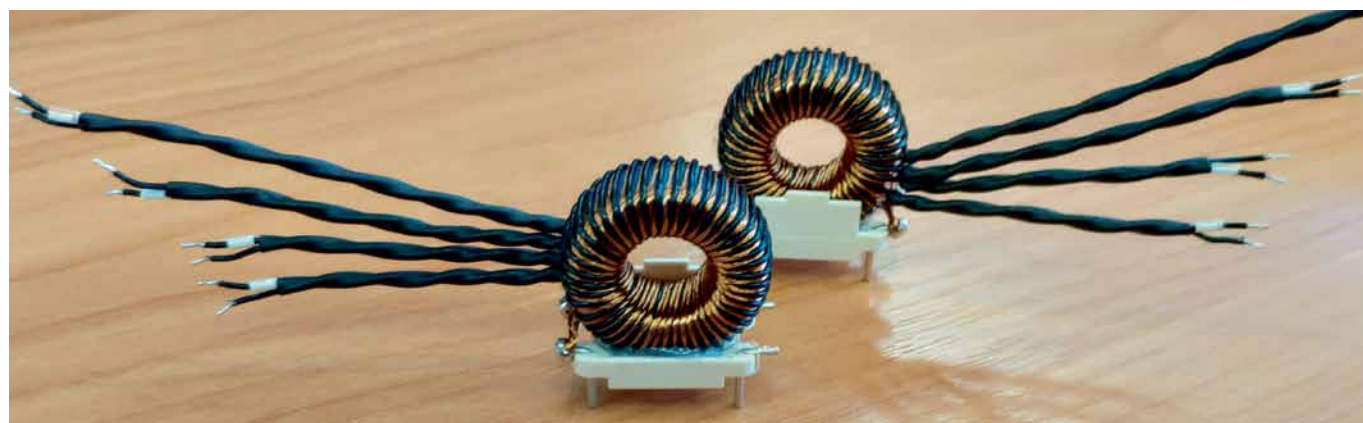


Рис. 12. Многообмоточный дроссель на сердечнике МП

называемые силовые марки ферритов, например N87 фирмы TDK (рис. 11) или аналогичные. Кроме того, применяются сердечники без зазора из магнитодиэлектриков (в них имеется распределенный зазор). Причем для изделий с наиболее высокими требованиями и характеристиками используются сердечники из молибденового пермаллоя (МРР, МП) (рис. 12), а для изделий минимальной стоимости – из сендаста (Cool М μ) или распыленного железа (рис. 13). Для дросселей фильтров, работающих с подмагничиванием и с небольшой величиной переменной составляющей напряжения, из магнитодиэлектриков наиболее подходит распыленное железо, поскольку это наиболее дешевый материал, вполне отвечающий данным требованиям. Кроме того, широко применяются незамкнутые сердечники из никель-цинковых ферритов различной конфигурации. Наиболее простые из них – стержневые. Они лучше всего держат подмагничивание благодаря почти бесконечному воздушному зазору, но в то же время обладают наибольшими полями рассеяния. Примером дросселей на таких сердечниках могут служить отечественные высокочастотные дроссели типа ДМ. Дроссели на гантельных сердечниках компактнее, меньше излучают, но их индуктивность в большей степени зависит от тока подмагничивания. Такие гантели выпускаются как без выводов, так и с радиальными или аксиальными штыревыми выводами. И наконец, существуют экранированные гантельки, помещаемые в ферритовый экран. Они излучают еще меньше, но из-за уменьшения величины воздушного зазора еще хуже держат подмагничивание. В последнее время появились низкопрофильные гантельные сердечники, как экранированные, так и неэкранированные, в исполнении для поверхностного монтажа. Дроссели на таких сердечниках могут выполняться на токи до десятков ампер.

Отдельного упоминания заслуживают высокочастотные дроссели, выполненные в виде чипов. Разработано несколько разновидностей этих изделий: так, выпускают дроссели с ферритовыми сердечниками и катушкой с ферритовыми сердечниками и без них. Такие дроссели имеют те же типоразмеры, что и другие пассивные



Рис. 13. Дроссель на распыленном железе

компоненты, предназначенные для поверхностного монтажа: резисторы, конденсаторы. А поскольку индуктивные компоненты, будучи одинаковых габаритных размеров с резисторами, имеют в ряде случаев определенные преимущества перед ними, то их целесообразно применять вместо резисторов или вместе с резисторами в качестве фильтров питания, в цепях межкаскадной развязки, для частотной компенсации, в частотно-зависимых нагрузках, в качестве нагрузок усилительных каскадов, особенно при низковольтном питании.

Катушки индуктивности, предназначенные для работы в резонансных контурах, выполняются, как правило, с подстроечными сердечниками из ферритов или карбонильного железа – как на цилиндрических каркасах, так и в броневах сердечниках с зазором конфигурации Б, КВ (RM) и т.п. Применение кольцевых сердечников для этих целей – нерациональное решение, так как ферритовые материалы имеют достаточно большой разброс по магнитной проницаемости, что приводит к разбросу индуктивности, а невозможность подстройки катушки в аппаратуре делает настройку контура в резонанс весьма затруднительной. Кроме того, кольцевые сердечники почти не выпускаются из термостабильных материалов ввиду их малого применения. Например, из термостабильного материала N48 фирма TDK выпускает

только броневае сердечники. Существует еще один вид контурных катушек индуктивности: самые простые и дешевые бескаркасные катушки, которые выпускаются без сердечников и по виду напоминают спиральные пружинки. Такие катушки имеют небольшую индуктивность и применяются на высоких частотах, например в FM-диапазоне. Подстройка контуров в изделии осуществляется путем сдвигания и раздвигания витков, после чего витки фиксируются каким-нибудь высокочастотным диэлектриком, например парафином.

Заключение

Мы кратко рассмотрели применение индуктивных компонентов. Исторически они были одними из первых элементов радиоэлектронной аппаратуры, но по-прежнему широко применяются. Индуктивные компоненты постоянно совершенствуются благодаря применению новых материалов, конструкций и технологий. Нет сомнений, что они будут применяться и в самой разнообразной технике будущего, начиная с аппаратуры связи и заканчивая устройствами силовой электроники.

Н. С. Ковалёв,
ООО «Балтийская электронная компания»,
г. Санкт-Петербург,
тел.: +7 (812) 370-1788,
e-mail: info@bec.spb.ru,
сайт: www.bec.spb.ru