



Статья написана на основе собственного опыта автора и анализа материалов отечественных и зарубежных источников. Она не претендует на какую-либо новизну и предназначена для радиолюбителей-коротковолновиков, особенно начинающих, занимающихся конструированием широкополосных усилителей мощности. В радиолобительском эфире и в сети Интернет довольно часто можно услышать и прочитать неверные, а зачастую вредные, но произносимые весьма убедительным тоном суждения о плохой работе в усилителях мощности, устройствах согласования антенн и т. д., ВЧ трансформаторов на ферритах с большой магнитной проницаемостью. Попробуем сделать краткий анализ работы ВЧ трансформаторов различных конструкций [1—3]. Наиболее распространенный тип трансформатора в радиолобительских конструкциях — на кольцевом магнито-проводе из феррита или порошкового железа, так называемые трансформаторы на длинных линиях (ТДЛ). Их диапазон рабочих частот может составлять до пяти октав, и одна из главных причин, связанных с частотными ограничениями, — его конструкция. Обычно обмотки трансформатора выполняются тремя свитыми между собой проводами на одном кольце. Такая конструкция влечет за собой, по крайней мере, две проблемы. Первая — смещение фаз на высоких частотах во вторичных обмотках (если их несколько), зависящее от типа применяемой для намотки линии. Рассогласование фаз во вторичных обмотках относительно друг друга влечет за собой несогласованную работу пара-фазного каскада, следующего за трансформатором. И вторая проблема заключается в том, что трансформаторы подобного рода, особенно в радиолобительских разработках, имеют недостаточную магнитную проницаемость магнитопровода. Это приводит к изменению расчетного активного сопротивления в полосе частот (особенно на низких частотах). Такие трансформаторы имеют, как правило, относительно большое число витков, что приводит к значительной индуктивности рассеяния и появлению межобмоточной емкости. Все вышеуказанные факторы не самым лучшим образом влияют на широкополосные свойства ВЧ трансформатора. Поэтому применение конструкции, где обмотки выполнены на одном кольцевом магнитопроводе, в широкополосных трансформаторах является достаточно проблематичным. Однако кольцевые магнитопроводы из феррита или порошкового железа неплохо зарекомендовали себя при изготовлении резонансных (узкополосных) контуров в различного рода фильтрах. Хорошая альтернатива ТДЛ — трансформатор с объемным витком (выполнен в виде "бочонка"). В таких конструкциях межобмоточная емкость и паразитная индуктивность рассеяния сведены к минимуму, так как обмотки намотаны на

отдельных ферритовых магнитопроводах и помещены в экранированные друг от друга отсеки, а связь между ними обеспечивает металлический стержень (кern). ВЧ трансформаторы подобного рода имеют большую широко-полосность (сотни мегагерц), с хорошим постоянством параметров в полосе частот. Однако и здесь есть свои подводные камни. Такие трансформаторы имеют ограниченное применение при передаче сигнала большой мощности, так как в качестве элемента связи между обмотками используется стержень из немагнитного материала, проходящий через магнитопроводы. При передаче через трансформатор мощного (десять и более ватт) сигнала происходит ее ограничение на выходе. И чем больше передаваемая мощность, тем хуже коэффициент передачи. Основная же мощность уходит на нагрев трансформатора. Не берусь судить о причинах этого эффекта. По всей видимости, здесь требуются дополнительные эксперименты с применением различных материалов для трансформаторов. На малых же мощностях такие ВЧ трансформаторы имеют великолепные параметры. Еще одна широко распространенная конструкция ВЧ трансформаторов — это трансформаторы с внешним витком, так называемые "бинокли". Их изготавливают на двухотверстных (трансфлекторах) или трубчатых ферритовых магнитопроводах. И те и другие можно заменить набором из кольцевых магнитопроводов. Но в среде радиолюбителей-конструкторов до сих пор нет единого мнения о методике изготовления подобных трансформаторов и, самое главное, о выборе магнитной проницаемости его основного материала — феррита. Однако это уже давным-давно определено зарубежными фирмами, специализирующимися на выпуске средств радиосвязи, которые широко используют подобные трансформаторы в своих конструкциях — симметрирующих трансформаторах, антенн (балунах) с различными коэффициентами трансформации, входных и выходных ВЧ трансформаторах усилителей мощности, различных согласователей. Диапазон рабочих частот трансформаторов подобного исполнения при работе на нагрузку с полным сопротивлением до 500 Ом может достигать десяти октав, если реактивное сопротивление обмоток трансформатора на самой низкой рабочей частоте составляет не более четверти от соответствующих нагрузочных импедансов. В противном случае снижается нижняя рабочая частота трансформатора. Попробуем ближе рассмотреть процесс конструирования такого ВЧ трансформатора. Итак, чтобы обеспечить малую индуктивность рассеяния и межобмоточную емкость, обмотки следует стремиться выполнять с малым числом витков. Но тогда не хватит индуктивности на низкочастотном участке рабочего диапазона!? Увеличить ее можно, применив феррит с высокой или очень высокой магнитной проницаемостью. Не 100 и не 400, как часто можно услышать в эфире от "знатоков", и даже не 1000, а еще выше — не менее 2—5 тысяч. Фирменные трансформаторы, работающие в полосе частот 1...500 МГц, выполняются на ферритах с проницаемостью даже 10000. Не верьте "знатокам", утверждающим, что такие ферриты "...не работают на высоких частотах...". И не нужно ему там работать. Его основная задача — обеспечение высокой индуктивности обмоток при минимальном количестве витков в них. Да, есть и в этом случае паразитные межобмоточная емкость и индуктивность рассеяния, но эти величины при таком исполнении пренебрежительно малы, особенно емкость. Компенсировать паразитную индуктивность рассеяния при нагрузочных импедансах до 500...600 Ом просто. Достаточно подключить параллельно обмотке такую же реактивность, но с другим знаком — конденсатор. Компенсировать же паразитную емкость можно, подключив к обмотке тот же конденсатор, но последовательно с ней. Правда, при нашей (радиолюбительской) полосе частот это не основная паразитная реактивность. Поэтому компенсацией межобмоточной емкости, в нашем случае, можно и пожертвовать. Паразитную индуктивность рассеяния с достаточной точностью можно измерить измерителем индуктивностей, пересчитав ее в реактивность. Полученное значение реактивности следует заменить на отрицательное, т. е. на емкость. Или же просто подобрать конденсатор по минимуму КСВ. Найти ферриты с высокой магнитной проницаемостью (несколько тысяч) не сложно. Они в виде трубчатых изделий широко

применяются во всевозможных импортных кабелях для защиты от наводок и помех (шнуры питания офисной и домашней техники, соединительные шнуры цифровых фотоаппаратов, мониторные и компьютерные кабели, USB-удлинители и т. д.). "Трубки" отечественных производителей отличаются по своим магнитным свойствам не в лучшую сторону. Однако и на них получаются трансформаторы довольно высокого качества. При намотке трансформатора следует стремиться максимально заполнить внутренний объем "бинокля". Это достигается применением провода большого сечения с равномерным заполнением отверстий либо выполнением обмоток коаксиальным кабелем или линией (например, сетевым шнуром от паяльника). Хороший вариант — использовать для намотки жгут, составленный из свитых между собой проводов МГТФ.

- R _{вх} / R _{вых} Ом	50/50	50/110	50/200	50/300	50/450	50/600	50/800
Число витков первичной обмотки	2	2	2	2	2	2	2
Число витков вторичной обмотки	1+1	1,5+1,5	2+2	2,5+2,5	3+3	3,5+3,5	4+4

В таблице приведены ориентировочные намоточные данные ВЧ трансформаторов на трубчатых ферритах с большой магнитной проницаемостью [4]. Как видно, выбор по коэффициенту трансформации сопротивления достаточно широк и соответствует основным значениям, используемым в радиолюбительской практике. Первичную обмотку можно выполнить и из одного витка сохранив при этом пропорции для вторичной обмотки. Вторичную обмотку мотают двойным проводом или коаксиальным кабелем. Конец одного провода вторичной обмотки, соединенный с началом ее другого провода, образует среднюю точку обмотки. Соединив среднюю точку вторичной обмотки с одним из выводов первичной обмотки, кроме трансформации, получим и симметрирование вторичной обмотки. Автором был изготовлен трансформатор на ферритовых трубках от кабелей питания промышленной электроники, проницаемость — более 6000. Первичная обмотка состояла из двух витков монтажного провода сечением 3 мм кв. Вторичная — из трех витков сетевого шнура от электропаяльника. Начало одного провода шнура соединено с концом другого провода шнура (3+3 витка вторичной обмотки). Коэффициент трансформации — 1:9. Габаритная мощность трансформатора достаточна для передачи мощности до 1 кВт. Трансформатор с подключенной к вторичной обмотке нагрузкой 510 Ом, при входном сопротивлении 50 Ом, имел КСВ = 1,1 ... 1,2 в полосе частот 1,7...26 МГц. КСВ повышался до 1,7 ближе к частоте 38 МГц. При подключении параллельно первичной обмотке трансформатора конденсатора емкостью 52 пФ (компенсация индуктивности рассеяния обмоток) КСВ выровнялся до 1...1,2 в полосе частот от 1,7...42 МГц. На фотографиях (рис.1 — 3) показаны результаты измерений, выполненных прибором MFJ-269. На рис. 4 можно наблюдать результат измерения параметров трансформатора с коэффициентом трансформации 1:4, также изготовленного автором [5]. Вторичная обмотка состоит из двух витков коаксиального кабеля, с последующим последовательным соединением центрального провода кабеля и экрана в качестве половин обмоток. Частотный диапазон трансформатора без применения компенсирующих емкостей составил 1,8...29 МГц при КСВ = 1,1...1,6. При подключении к первичной обмотке конденсатора емкостью 43 пФ и 10 пФ к вторичной КСВ в полосе частот 3,4...32 МГц был равен единице, а в полосе 1,7...47 МГц не превышал 1,2. Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что не следует бояться применять ферриты с большой магнитной проницаемостью в своих конструкциях. Кроме того, автор считает ошибочным рекомендацию о применении в "биноклях" ферритов смешанных значений проницаемости (например, ВЧ50+1000НН и т.д.). ЛИТЕРАТУРА 1. Бунин С. Г., Яйленко Л. П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. — Киев, Техника, 1984, с. 146. 2. Рэд Э. Т. Схемотехника радиоприемников — М.: Мир, 1989.