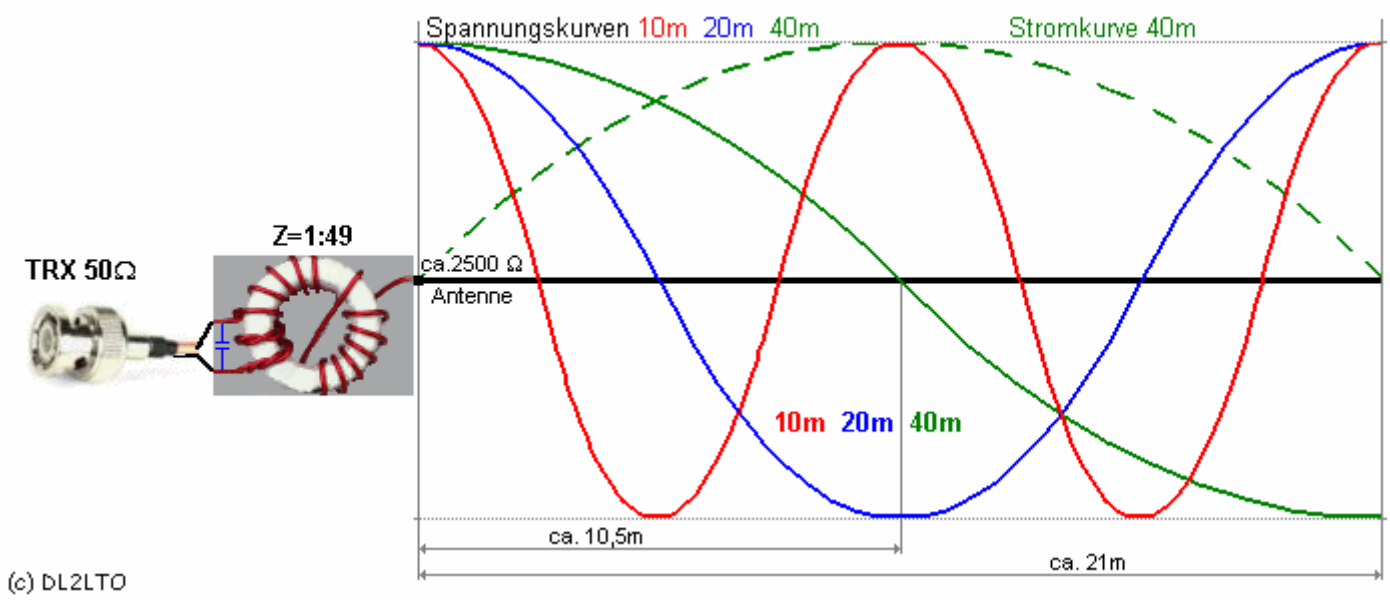
Представленную здесь антенну не следует путать с так называемой нерезонансной проволочной антенной [где питающий излучатель имеет случайную длину], питаемой через магнитный балун 1:9, которая выглядит похоже, но функционирует иначе! Здесь я имею в виду полуволновую антенну с концевым питанием, сокращенно EFHW. Это резонансная антенна с питанием от напряжения длиной λ/2 или кратными ей, питаемая в пучности напряжения. Как следует из названия, в этой «резонансной антенне с концевым питанием» излучающий элемент питается с одного конца, а не где-то посередине. Поэтому питание осуществляется не по центру или со смещением от центра, как у диполя, а «очень сильно смещено от центра».
EFHW — полуволновая антенна, не требующая тюнера. Как можно эффективно соединить высокоимпедансный «конец провода» с низкоимпедансным передатчиком? На изображении показана эта полуволновая антенна с концевым питанием, которая питается через преобразователь импеданса 1:49, широкополосный трансформатор. Формы тока и напряжения на проводе антенны λ/2 вам не в новинку.



Особенность этой антенны заключается в высоком импедансе в точках подключения и на концах, в сочетании с очень высокими напряжениями и напряженностью электрического поля. При мощности 100 Вт это соответствует 500 В [U = 100 Вт x 2500 Ом]. А при мощности 5 Вт вам все равно придется учитывать примерно 112 В.

Точка питания с высоким импедансом на стороне антенны согласуется с импедансом 50 Ом трансивера (TRX) с помощью встроенного тороидального согласующего трансформатора. Импеданс преобразуется в сторону повышения. Максимум излучения такой антенны находится в пучности тока в центре излучателя, и её следует подвешивать как можно выше над землёй. При достаточной длине можно сразу же начать работу в диапазонах 40, 20 и 10 метров без переключения соединений или других модификаций. С помощью стекловолоконной мачты и точки подвеса на высоте примерно 8-9 метров над землёй вы быстро выйдете в эфир. Другой конец часто крепится к трости и подключается к трансиверу с помощью короткого отрезка коаксиального кабеля. Антенна может быть подвешена в наклонном, горизонтальном или V-образном положении и подходит для множества различных конфигураций.
Представленная здесь версия основана на трансформаторе импеданса. Ее основным компонентом является так называемый «согласователь импеданса QRP». По сравнению со схемой Фукса, она имеет гораздо более широкую полосу пропускания и согласует сигнал без тюнера. Вместо настраиваемого резонансного контура для широкополосного согласования используется ВЧ-трансформатор. Кроме того, антенная система гораздо спокойнее реагирует на внешние воздействия. Однако это всегда зависит от резонансной длины провода, равной

половине длины волны. Никакой случайной длины провода! Излучатель с длиной волны ровно в половину длины волны, возбуждаемый на своей резонансной частоте, имеет высокое сопротивление на излучающем конце, в точке питания [высокое напряжение, низкий ток]. Это высокое сопротивление затем должно быть преобразовано в коаксиальный кабель 50 Ом, который подключается к трансиверу. Вход и выход трансивера, как известно, принимают это сопротивление 50 Ом. Утверждается, что коаксиальный кабель выполняет и другую функцию, но об этом позже.

Согласующее устройство импеданса для QRP-диапазона, рассчитанное на номинальную мощность от 5 до 10 Вт. Эта антенна была разработана Стивом Вебером, KD1JV, для MTR-2Band - Mountain Top'er. В показанном здесь методе используется преобразователь импеданса. Первичная и вторичная обмотки объединены в одну катушку, и антенна НЕ гальванически изолирована от фидерной линии.

Коэффициент трансформации напряжения равен коэффициенту трансформации трансформатора, W1 : W2, а коэффициент трансформации тока является обратной величиной этого коэффициента. Таким образом, требуемый коэффициент трансформации импеданса равен квадрату коэффициента трансформации, W12 : W22. Антенна имеет высокое сопротивление от нескольких сотен до тысячи Ом в точке питания на диапазонах. Следовательно, для согласования с 50 Ом необходим коэффициент трансформации импеданса приблизительно от 1:50 до 1:70. Это соответствует коэффициенту трансформации приблизительно от 1:6 до 1:8. Значение импеданса резонансного полуволнового излучателя с концевым питанием интерпретируется совершенно иначе. Соответственно, не существует «равномерного» EFHW-разветвителя. Следовательно, коэффициент связи во многих публикациях указывается по-разному. Встречаются значения импеданса приблизительно от 2000 до 4000 Ом, то есть сильно варьирующиеся.

N	W	Windungs Verhältnis	Transformationsverhältnis	Impedanz Verhältnis	
2	13	1 : 6,5	1 : 42,25	1 : 2.112,5	[ca. 50 Ω zu 2,1 KΩ]
2	14	1 : 7	1 : 49	1 : 2.450	[ca. 50 Ω zu 2,4 KΩ]
2	15	1 : 7,5	1 : 56,25	1 : 2.812,5	[ca. 50 Ω zu 2,8 KΩ]
2	16	1 : 8	1 : 64	1 : 3.200	[ca. 50 Ω zu 3,2 KΩ]
2	17	1 : 8,5	1 : 72,25	1 : 3.612,5	[ca. 50 Ω zu 3,6 KΩ]
2	18	1 : 9	1 : 81	1 : 4.050	[ca. 50 Ω zu 4 KΩ]
3	21	1 : 7	1 : 49	1 : 2.450	[ca. 50 Ω zu 2.4 KΩ]
3	24	1 : 8	1 : 64	1 : 3.200	[ca. 50 Ω zu 3.2 KΩ]

Очевидно, что такие трансформаторы не обладают такой широкой полосой пропускания, как хотелось бы, и не охватывают диапазон от 3,5 до 30 МГц. Поэтому, если вы предпочитаете более низкие диапазоны (80/40 МГц), согласующее устройство с N=3, вероятно, будет лучше. И наоборот, N=2 будет более подходящим, если вы сосредоточены на более высоких диапазонах (от 30 до 10 МГц). Вы можете экспериментировать с любым соотношением, включая полувитки. Однако имейте в виду, что импеданс точки питания может зависеть от многих факторов. Фактическое требуемое соотношение витков зависит от высоты установки и особенно от местных условий, в частности, от состояния грунта. Диаметр антенного провода также играет роль.

Я действительно не уверен, необходимо ли использовать передачу с очень высоким импедансом для согласования с антенной с концевым питанием. В своих экспериментах я выбрал импеданс около 2,5 кОм, что требует преобразования импеданса в соотношении 1:49. Имейте в виду, что количество витков зависит от используемого тороидального сердечника и антенны, поэтому могут потребоваться некоторые эксперименты. Вам следует стремиться к соотношению импедансов примерно от 1:50 до 1:60, чтобы согласовать несимметричный выход трансивера 50 Ом с антенной EFHW 2500–4000 Ом.

Наблюдение относительно возбуждения на гармониках: по мере увеличения потерь антенны импеданс точки питания обычно уменьшается. Более высокие гармоники полуволны также, как правило, имеют более низкий импеданс точки питания. Таким образом, настроенная проволочная антенна на 80 м обычно имеет импеданс около 2,5–3,5 кОм, на 40 м — около 2–2,5 кОм, а для еще более высоких гармоник — около 1,5 кОм. Пожалуйста, рассматривайте эти значения только как рекомендации! Это означает, что если вы работаете на нескольких диапазонах, вам необходимо найти среднее значение для согласования КСВ в верхнем и нижнем диапазонах. Именно здесь вступает в игру параллельный первичный конденсатор приблизительно от 80 до 120 пФ. Параллельный резонанс конденсатора с индуктивностью антенны увеличивает импеданс точки питания и помогает согласовать антенну на нескольких диапазонах.

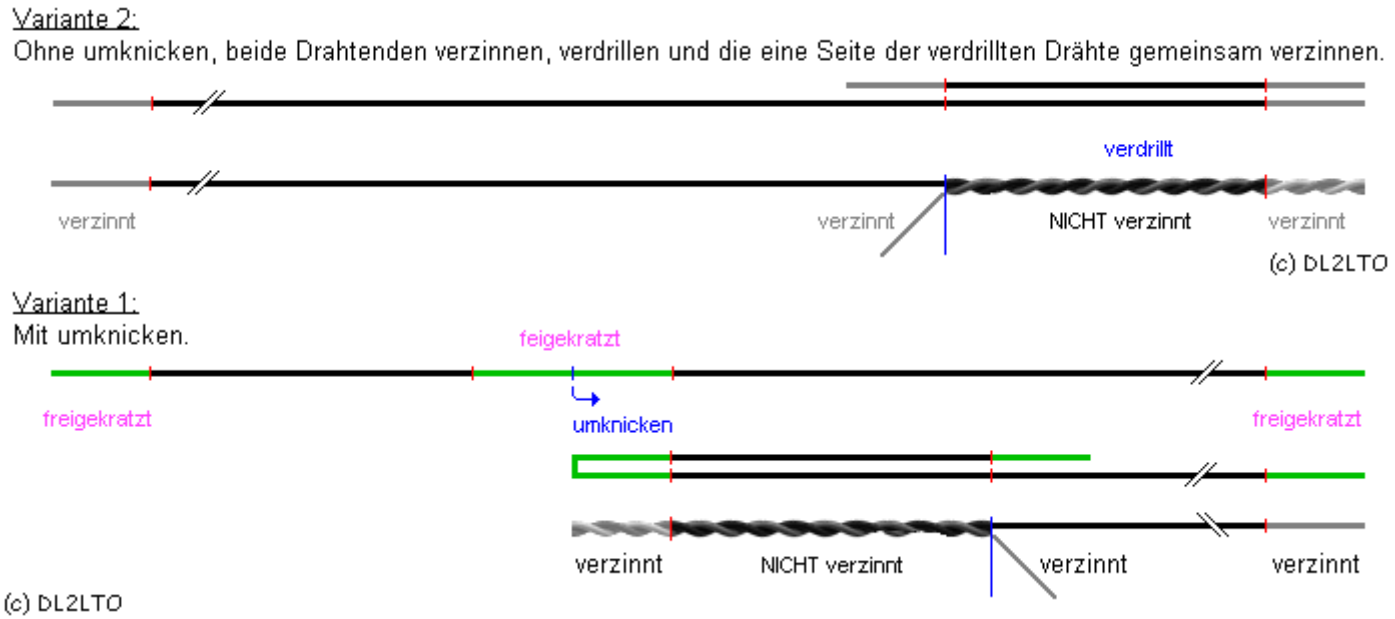
Сердечник был намотан, как показано на схеме, таким образом, чтобы вход и выход обмотки находились на максимально возможном расстоянии друг от друга. Это также минимизирует емкостную связь. Каждый раз, когда вы продеваете провод через сердечник, это один виток, даже в первый раз! Один виток считается. Однако коэффициент преобразования импеданса не так критичен для высокоомного провода в концевой полуволновой схеме. Фактическое сопротивление точки питания может значительно варьироваться в зависимости от высоты над землей или других источников потерь. Вы также можете подумать о том, чтобы взять с собой в рюкзак согласующие резисторы 1:64 и 1:49. Таким образом, у вас будет больше гибкости.

Я использую трансформатор импеданса без противовеса. Либо разъем BNC подключается непосредственно к разъему трансивера, либо между трансивером и согласующим устройством находится около 2-3 метров коаксиального кабеля. Это зависит от местных условий. На практике эта длина коаксиального кабеля, или, скорее, плетеного коаксиального кабеля, уже действует как противовес с емкостью в несколько пикофарад относительно земли, но излучает очень мало [QRP]. И это происходит автоматически, без вашего согласия. Поэтому нет причин беспокоиться о проблеме противовеса с антеннами EFHW на низких уровнях мощности. Длина коаксиального кабеля, ведущего к антенне, составляет лишь незначительную часть всей антенной системы.

Дэвид, VK3IL, экспериментировал, размещая нагрузочный резистор между выходом и землей для диапазона возможных импедансов антенны от 2200 до 6800 Ом. Два графика КСВ в КВ-диапазонах от 80 до 10 метров показывают существенные различия. Как видите, конденсатор следует учитывать при проектировании, особенно для лучшего согласования на более высоких диапазонах. Рекомендуемый размер — 100 пФ. Этот компенсирующий конденсатор должен быть высококачественным ВЧ керамическим конденсатором с номинальным напряжением, соответствующим выходному напряжению. Наведите курсор на нижнее изображение. Это позволит вам сравнить КСВ сначала без конденсатора, а затем с конденсатором 100 пФ.

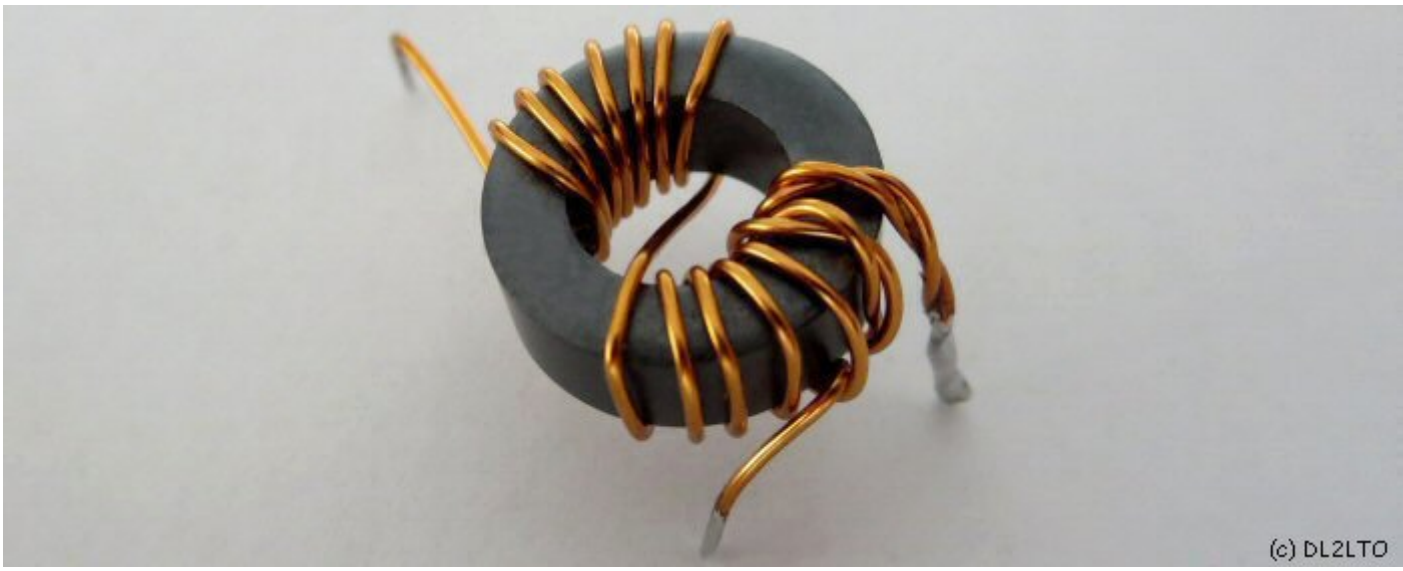
Детали конструкции: Согласователь импеданса QRP собран с использованием следующих компонентов. Он состоит из небольшой печатной платы, тороидального сердечника FT50-43, конденсатора 100 пФ/1 кВ и разъемов 4 мм и 2 мм. Кроме того, потребуется термоусадочная трубка, медный провод сечением 0,5 мм² и примерно 2–2,5 м коаксиального кабеля RG174. Сердечник FT50-43 изготовлен из никель-цинкового сплава и предназначен для широкополосных трансформаторов, с магнитной проницаемостью 850 Ом [индуктивность на виток 440 нГн]. Его габариты: внешний диаметр 12,7 мм, внутренний диаметр 7,14 мм и высота 4,8 мм.

Синий конденсатор емкостью 100 пФ/1 кВ устанавливается параллельно первичной обмотке трансформатора для компенсации «нежелательной» вторичной емкости. Это оказывает особенно положительное влияние на высокочастотные диапазоны от 30 м до 10 м.

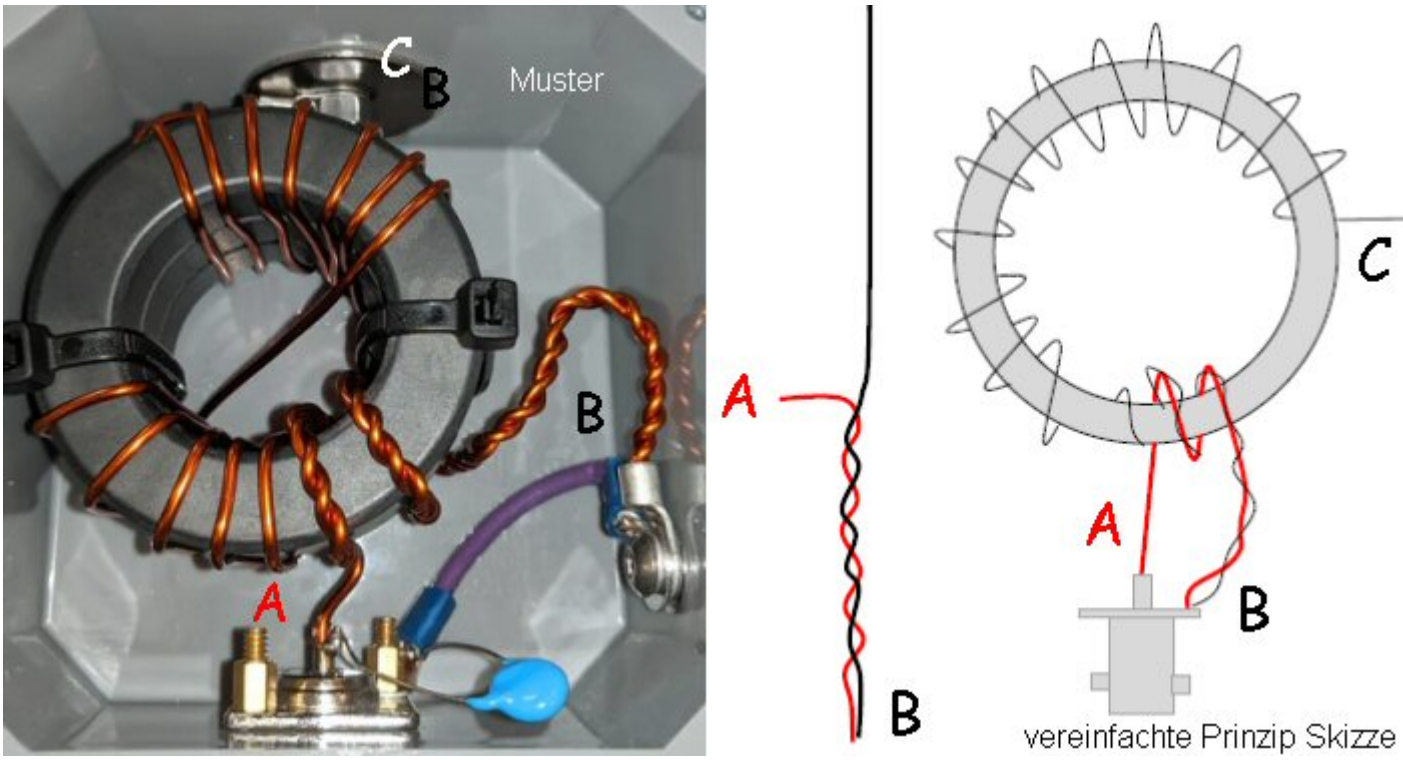


Намотка и подключение трансформатора импеданса: Не пугайтесь намотки тороидального сердечника. Вы справитесь! Трансформатор состоит из двух скрученных обмоток, общих для первичной и вторичной цепей. Первые два витка скручены вместе, поэтому первичная обмотка имеет только два витка. Затем следуют еще 14 отдельных витков. Скрутите обе медные жилы вместе на два витка, как показано на изображении ниже. Пожалуйста, не просто обматывайте один провод вокруг другого. Это не скручивание, и этого следует избегать! В противном случае согласование импеданса в высокочастотных диапазонах ухудшится. Крайне важно использовать медный провод. При намотке проводом с ПВХ-изоляцией эффективное расстояние между витками слишком велико, и связь ухудшается. Предварительно нарезанный медный провод для тороидального сердечника FT-50-43. Размотайте с катушки примерно 36 см медного провода диаметром 0,5 мм и обработайте его по этой схеме. Дальнейшие инструкции будут предоставлены позже.

При первом способе скручивание загнутого конца провода относительно легко. Однако я не считаю лужение после скручивания очень эффективным. Проще, если провод уже очищен от припоя, что и предлагается во втором способе. Итак, сначала очистите провод от припоя, затем скрутите и, наконец, залужите. Хороший контакт гарантирован и необходим.



Теперь намотаем катушки на тороидальный сердечник: намотаем два бифилярных витка на сердечник. Оба провода должны быть скручены вместе! Затем намотаем еще 12 одинарных витков. Таким образом, первичная обмотка трансформатора имеет две обмотки, две из которых относятся к первичной, а две — ко вторичной. В общей сложности это 14 витков: 2 бифилярных + 12 одинарных. Коэффициент намотки составляет 2:14, или 1:7, поэтому вторичное напряжение будет в 7 раз больше первичного напряжения, а вторичный ток будет равен 1/7 первичного напряжения. Следовательно, импеданс преобразуется в соотношении 1:[7 * 7] = 1:49. На практике вы обнаружите, что импеданс незначительно изменяется на гармонических диапазонах 10 м и 20 м, с тенденцией к меньшему изменению. Вам потребуется найти компромисс, чтобы иметь возможность работать в трех диапазонах с одним трансформатором. Имейте в виду, что полоса пропускания не является неограниченной. Первые два витка первичной и вторичной обмоток скручиваются вместе, так что первичная обмотка имеет только два витка. Это приводит к более тесной связи. Вторичная обмотка имеет еще пять витков. Затем, через тороидальный сердечник, сторона переворачивается, и еще семь витков наматываются в противоположном направлении. Используемая здесь технология намотки обеспечивает максимально возможное расстояние между входом и выходом обмотки, тем самым минимизируя емкостную связь. Однако следует отметить, что количество витков зависит от используемого тороидального сердечника и антенного провода, поэтому может потребоваться некоторый эксперимент.



Мой способ намотки тороидального сердечника FT50-43 — это всего лишь предложение. Вариант 1: Возьмите примерно 36 см эмалированной медной проволоки диаметром 0,5 мм. Снимите примерно 0,5 см эмалевого покрытия с конца проволоки и еще раз примерно с 5-7 см с помощью канцелярского ножа. [Вариант 2]: Отрежьте два отрезка эмалированной медной проволоки диаметром 0,5 мм, 5,5 см и 29 см. Аккуратно снимите примерно 0,5 см эмалевого покрытия с конца каждой проволоки с помощью канцелярского ножа. Вариант 1: Загните проволоку в петлю примерно на 6 см. Это середина зачищенной проволоки. Теперь у вас есть один короткий и один длинный отрезок проволоки. [Вариант 2]: Скрутите первые 4,5 см каждой проволоки вместе с одной стороны и залудите первые 6 см скрученной проволоки. Вариант 1: Крепко держите конец петли и слегка скрутите прямой, загнутый конец. Продолжайте, пока не получите примерно 36 см проволоки. У вас останется скрученный конец, короткий отрезок проволоки с уже зачищенным концом и более длинный отрезок проволоки. Следующие шаги применимы к обоим вариантам: Возьмите

тороидальный сердечник в руку. Поместите точку перехода от одинарной проволоки к скрученной проволоке в центр внешней поверхности тороидального сердечника. Проденьте конец скрученной проволоки через внутреннюю часть тороидального сердечника FT-50-43. Теперь наматывайте скрученную проволоку против часовой стрелки, снизу изнутри наружу. Это завершает первую из двух первичных обмоток и первую из вторичных обмоток. Продолжайте наматывать скрученную проволоку снизу снаружи вверх изнутри, а затем последний участок до нижней части снаружи. Это завершает две первичные обмотки и первые две вторичные обмотки. Теперь продолжайте наматывать вторичные обмотки свободным концом проволоки через центр сердечника. На этот раз по часовой стрелке. На изображении выше показаны первые 2 + 5 витков из 14. Следующая обмотка пересечет центр сердечника под углом 180° вниз и, как показано, продолжится на другую сторону тороидального сердечника. Поскольку она проходит через центр сердечника, она считается 8-й обмоткой вторичной обмотки. Теперь пропустите провод через центр сердечника и намотайте еще 6 витков. На этот раз против часовой стрелки. Теперь на тороидальном сердечнике должно быть 14 витков [2+6+6]. Дважды проверьте общее количество витков. Теперь снимите изоляцию с третьего конца провода, а затем залудите все 3 конца провода до уровня чуть ниже тороидального сердечника.

Конденсатор емкостью приблизительно 100–120 пФ улучшает согласование импеданса в верхних КВ-диапазонах, особенно в диапазонах 15/12/10 м. В качестве сердечника используется FT-50-43, подходящий для мощности до 10 Вт. FT-82-43 можно использовать до максимальной мощности 20 Вт без насыщения сердечника. Для более высоких уровней мощности следует использовать другие тороидальные сердечники, такие как FT-140-43 с AL 885 или FT-240-43 с AL 1075. Обратите внимание, что напряжение на конце антенны будет значительным. Это следует учитывать даже при работе в режиме QRP до 20 Вт. Приблизительное напряжение можно оценить, используя уравнение U = P x R. При 50 Ом и 5 Вт мы получаем приблизительно 125 В среднеквадратичного значения или 175 В пик-пик, при 10 Вт — около 180 В среднеквадратичного значения, а при 20 Вт — уже около 250 В среднеквадратичного значения. Предполагалось, что импеданс на конце антенны составляет 3200 Ом.

Длина полуволнового излучателя может быть приблизительно рассчитана следующим образом: Длина [м] = 145,4 / Частота [МГц]. Эта формула уже учитывает коэффициент укорочения 0,96
Если отображаемая резонансная частота выше желаемой, необходимо удлинить антенный провод на определенную величину (x). Если резонансная частота ниже желаемой, необходимо укоротить его.

Возможные варианты настройки на практике: Мнение о необходимости противовеса для антенны обсуждается по-разному; это вопрос личного мнения. Я думаю, что некоторый противовес необходим, но не очень большой, поскольку «антенна с питанием от напряжения» имеет высокое сопротивление в точке питания. Экранирование коаксиального кабеля частично берет на себя функцию противовеса. И что? Мой коаксиальный кабель лежит на земле 80% времени во время портативной работы, предотвращая тем самым любое потенциальное радиочастотное излучение. Вы также можете обеспечить антенному излучателю «дополнительный ограничитель перенапряжения», прикрепив «противовес» к общей точке автотрансформатора, или нет. Короткий провод длиной около 0,05 λ, который часто рекомендуется. Это примерно 1 м для диапазона 20 м. Теперь небольшой ток протекает через противовес и уменьшает синфазный ток в коаксиальном кабеле. Провод противовеса излучает очень мало во время работы в режиме QRP и на открытом воздухе и не вызывает никаких помех, что приемлемо. Возвращаясь к вопросу о противовесе: в точке питания всегда будет присутствовать определенный дисбаланс, и компенсирующий ток, который неизбежно будет возникать, проходит через короткое замыкание между первичной и вторичной цепями к оболочке коаксиального кабеля, а затем к трансиверу. Эти синфазные

токи следует подавлять. Поскольку это высокоимпедансный источник питания, и антенна работает на низкой мощности, возникающие синфазные токи легко поддаются контролю. При выходной мощности приблизительно от 5 до 10 Вт на резисторе сопротивлением около 2,7 кОм можно ожидать ток около 50 мА.

В этой конфигурации заземляющая оплетка соединительного коаксиального кабеля также используется в качестве части «псевдо» противовеса. Я считаю, что без какого-либо заземляющего соединения, выполняющего функцию противовеса, это невозможно. Ток находит свою «вторую ветвь» для компенсации, которую не всегда легко заметить. В моей конфигурации экранирующая оплетка коаксиального кабеля просто используется в качестве противовеса. Небольшой синфазный ток будет обнаруживаться на коаксиальном кабеле и будет излучаться! Я его не измерял, но предполагаю, что он составляет около 20-30 мА для работы в режиме QRP. В версии для работы в режиме QRP/на открытом воздухе мне не потребовался явный противовес. Чтобы заблокировать оставшийся синфазный ток на коаксиальном кабеле, можно добавить токовый балун непосредственно после согласующего устройства. Однако это не точка с высоким током в антенной системе. Поэтому токовый балун не будет работать так эффективно, как хотелось бы!

Чтобы повысить эффективность балуна, его можно установить в точке вдоль коаксиального кабеля примерно на расстоянии 0,05 λ от согласующего устройства. Это примерно соответствует длине противовеса. Да, коаксиальный кабель излучает, но только ту его часть, которая находится между согласующим устройством и балуном. Это часть антенны!

Соотношение витков 2:14 хорошо работает на диапазонах 20, 15 и 10 метров. При соотношении 3:21 потери меньше, а индуктивность намагничивания лучше на диапазонах 30, 40 и 80 метров. FT140-43 имеет слишком малую индуктивность для 80 метров. Небольшое увеличение индуктивности на первичной обмотке смещает оптимум в сторону более низких частот. Вам нужен как минимум FT240-43, и даже с одним тороидальным сердечником это все равно компромисс. Как известно, полоса пропускания трансформатора не безгранична. Согласователь импеданса 80/40 имеет соотношение витков 3:21, что означает три витка первичной обмотки на двух соединенных сердечниках FT240-43. Это хорошо работает на диапазонах 80 и 40 метров. Хотя два витка первичной обмотки на одном FT240-43 будут работать на практике, я не рекомендую это, если вы в основном работаете в нижних диапазонах. Поэкспериментируйте с коэффициентом трансформации 3:18, 3:19, 3:20 или 3:21. – Длина коаксиального кабеля не является обязательной, поскольку линия питания НЕ является частью антенной системы. Антенне может потребоваться лишь небольшой противовес, который будет обеспечен коаксиальным кабелем. Поэтому, если вы рассматриваете возможность использования синфазного дросселя, сделайте около 11 витков на тороидальном сердечнике и расположите его на расстоянии 2–3 метров ниже согласующего элемента. – Безусловно, многие радиолюбители используют антенну EFHW без противовеса и считают её эффективной. Почти все работают на низкой мощности, т.е. в режиме QRP, поэтому проблемы с синфазным током значительно минимизируются. – Не существует трансформатора импеданса, работающего в диапазоне от 1,8 до 30 МГц. Если это необходимо, сделайте один согласующий элемент для диапазона от 80 до 40 м и один для диапазона от 20 до 10 м.

Вот как я вижу работу антенны EFHW в условиях открытого воздуха в горах. Почему она является одной из самых популярных портативных антенн для работы в режиме QRP на открытом воздухе? – Она проста в изготовлении, имеет небольшие габариты, легкий вес и позволяет удобно и гибко настраивать антенну в полевых условиях без тюнера. – Питание антенны на конце провода не делает её лучше или хуже, но питание с конца обеспечивает некоторые механические преимущества! – Я обнаружил, что синфазные токи являются проблемой только в том случае, если антенна не резонансна, и что короткий противовес — хорошая идея. – Предварительный отбор не используется для уменьшения помех приёмника.

Однако это незначительно при работе в условиях открытого воздуха в горах, поскольку помехи либо отсутствуют, либо значительно минимизированы. Приведенные данные отражают результаты с конфигурацией наклонной антенны при средней или довольно низкой проводимости грунта. На более высоких диапазонах она была почти вертикальным излучателем. Однако имейте в виду: если антенна хорошо работает и правильно настроена в одном месте, она может работать не так хорошо в другом. Это зависит от высоты антенны, типа почвы и близости к растительности, а также от других факторов. Длина волны λ/2 для диапазона 40 метров обычно составляет около 20,5 метров. В данном случае она составляет приблизительно 18,8 метров. Добавление ПВХ-изоляции к проводу антенны всегда уменьшает её длину. Это также влияет на полосу пропускания на 40 метрах. Но это всего лишь примечание; это не является серьёзной проблемой, но стоит знать.

