

От теории к практике: Руководство по созданию эффективных антенн для диапазона 144 МГц из подручных материалов

Фундаментальные принципы расчета и выбора материалов

Перед тем как приступить к физическому изготовлению антенны, крайне важно понять лежащие в ее основе физические принципы и научиться корректно выполнять расчеты. Неправильные размеры являются главной причиной неудач начинающих радиолюбителей, поскольку антенна просто не будет резонировать на требуемой частоте [2](#). Этот раздел подробно рассматривает два ключевых аспекта: теорию определения длины элементов с учетом практических поправок и важность согласования импеданса для эффективной передачи энергии.

Центральным понятием при проектировании любой резонансной антенны является длина волны (λ), соответствующая рабочей частоте. Для частоты 144 МГц ($f=144 \times 10^6$ Гц) длина волны в вакууме или воздухе рассчитывается по скорости света ($c \approx 299,792,458$ м/с) по формуле $\lambda = c/f$ [1](#). Это дает значение примерно 2.08 метра. Самый простой тип антенны, полуволновой диполь, физически представляет собой два одинаковых проводника, каждый длиной $\lambda/2$, то есть около 1.04 метра [1](#). Однако, как показывает опыт, такая антенна будет иметь резонансную частоту ниже целевой [2](#). Это явление объясняется так называемым "концевым эффектом" или "концевой поправкой".

Электрическое поле у открытого конца металлического проводника расширяется за его физические пределы, что делает антенну электрически длиннее, чем она есть физически. В результате для достижения резонанса на заданной частоте ее реальная физическая длина должна быть немного меньше теоретического значения $\lambda/2$ [2](#).

Для учета этого эффекта используются поправочные коэффициенты. Наиболее простым и широко используемым является эмпирический коэффициент, который позволяет вывести удобную формулу для расчета общей длины диполя в метрах: $L_{total}=146.5/fMHz$ ¹. Эта формула уже содержит необходимую поправку, основанную на среднем значении для тонких проводников. Например, для частоты 144 МГц общая длина диполя составит $146.5/144 \approx 1.017$ метра, а длина каждого плеча — около 0.5085 метра. Более точный подход заключается в использовании фактора скорости (k), который зависит от диаметра проводника ¹. Чем толще проводник, тем больше его емкость, и тем больше он должен быть укорочен относительно теоретической длины. Источник ¹ предоставляет таблицу, которая количественно описывает эту зависимость. Для провода диаметром 1.63 мм (14 AWG) требуется укорочение на 2.71%, тогда как для трубки диаметром 10 мм это значение увеличивается до 3.68%. Таким образом, при использовании толстого материала для элементов необходимо применять больший поправочный коэффициент. Практическая формула с использованием фактора скорости выглядит так: $L=0.5 \times k \times c/f$ ¹. Выбор между простой и сложной формулой зависит от требуемой точности и типа используемых материалов.

| Диаметр проводника (мм) | Фактор скорости (k) | % Сокращение | Длина $\lambda/2$ (м) | Теоретическая длина (м) | Концевая поправка (м) | Корректируемая длина (м) |
|-------------------------|---------------------|--------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1.63 (14 AWG) | 0.9729 | 2.71% | 1.0409 | 1.0127 | 0.000978 | 1.0137 |
| 2.05 (12 AWG) | 0.9721 | 2.79% | 1.0409 | 1.0119 | 0.001230 | 1.0131 |
| 6.00 | 0.9670 | 3.30% | 1.0409 | 1.0065 | 0.003600 | 1.0101 |
| 10.00 | 0.9632 | 3.68% | 1.0409 | 1.0027 | 0.006000 | 1.0087 |

Таблица основана на данных из источника ¹.

Вторым критически важным параметром является импеданс антенны. Для эффективной передачи мощности от передатчика через коаксиальный кабель к антенне их импедансы должны совпадать. Большинство стандартных коаксиальных кабелей и радиостанций имеют характеристический импеданс 50 Ом ^{6 9}. Импеданс полуволнового диполя не является постоянной величиной; он сильно зависит от соотношения длины элемента к его диаметру (L/D) ³. Очень тонкий диполь (большое L/D) имеет входное сопротивление около 70-80 Ом, что хорошо согласуется с 50-омной системой, обеспечивая приемлемый коэффициент стоячей волны (КСВ). Однако если использовать очень толстый материал (маленькое L/D), например, медную трубку большого диаметра,

радиационное сопротивление может возрасти до 113 Ом [3](#). Такое несоответствие вызовет высокий KСВ, что приведет к потере мощности, отраженной от антенны, и возможному повреждению выходного каскада передатчика [3](#). Поэтому для DIY-проектов рекомендуется выбирать проводники с умеренным диаметром, чтобы получить импеданс в пределах 70-80 Ом. Если же используется толстый материал, может потребоваться дополнительная пассивная LC-схема согласования или изменение геометрии элемента, что усложняет конструкцию [3](#).

Выбор материалов для изготовления антенны «с нуля» не менее важен, чем точные расчеты. Для элементов диполя или вертикальной антенны можно использовать как мягкие, так и жесткие материалы. Проволока, особенно медная, является самым доступным вариантом. Можно использовать обычный медный провод сечением 1.5-2.5 мм² или даже восстановить провод из старого кабеля типа Romex, разрезав его и отделив внутренние жилы [9](#). Проволока легко гнется, но плохо сохраняет форму, поэтому для горизонтального диполя требуется прочная подвеска. Жесткие элементы, такие как медная или алюминиевая трубка, обеспечивают лучшую механическую стабильность и могут работать как волновод для радиоволн, что влияет на ширину диаграммы направленности. Диаметр трубки обычно выбирают в пределах 10-25 мм [6](#). Также в качестве элементов можно использовать стержни из нержавеющей стали, как в проекте Yagi-антенны, где применялись стержни М4 [6](#). Главное, чтобы материал был электропроводным. Для изоляции используются различные подручные средства: пластиковые заглушки для электропроводки, крышки от ПВХ-труб, куски керамики или специальные нейлоновые втулки [6](#) [9](#). Крепежные элементы, такие как шурупы и гайки, также должны быть из немагнитного металла, например, нержавеющей стали или латунь, чтобы не влиять на электрические характеристики. Коаксиальный кабель должен иметь характеристическое сопротивление 50 Ом (например, RG-58, RG-8U), а в качестве разъемов чаще всего используются SO-239 (PL-259) [6](#) [9](#). Опорой для антенны может служить деревянная планка, ПВХ-труба или алюминиевый профиль [6](#) [9](#). Полный список материалов и инструментов будет представлен в следующих разделах после рассмотрения конкретных конструкций.

Проектирование и сборка полуволнового диполя

Полуволновой диполь является идеальной отправной точкой для начинающего радиолюбителя, желающего изготовить антенну самостоятельно. Это самая простая, надежная и хорошо изученная конструкция, которая отлично работает в диапазоне 144 МГц [1](#). Она состоит из двух проводников равной длины, расположенных на одной прямой и питаемых в центре. Весь процесс можно разделить на четыре основных этапа: расчет и подготовка элементов, сборка центральной части, установка и окончательная настройка.

Первым шагом является точный расчет и подготовка элементов. Как было рассмотрено ранее, для частоты 144 МГц общая длина диполя составляет примерно 1.017 метра [1](#). Эту длину следует разделить на две равные части, каждая из которых будет представлять собой одно плечо антенны. Таким образом, длина каждого плеча составит около 0.5085 метра. Для работы можно использовать медную или алюминиевую проволоку диаметром 1.6-2.5 мм [9](#). Если используется более толстый проводник, следует применить поправочный коэффициент, как показано в таблице [1](#), чтобы избежать ошибки. После того как общая длина рассчитана, провод нужно аккуратно нарезать на две равные части. Для резки лучше использовать ножницы по металлу или болгарку с тонким отрезным диском, чтобы не деформировать металл и не укоротить его случайно [10](#). Затем на свободные концы каждого плеча нужно надеть изоляторы. В качестве изоляторов для диполя можно использовать пластиковые заглушки для электропроводки или куски керамики [1](#). Эти изоляторы выполняют две функции: они механически фиксируют концы проводов и предотвращают контакт с другими объектами, которые могут изменить резонансную частоту.

Второй этап — сборка центральной части, или точки питания. Именно здесь коаксиальный кабель будет подключаться к антенне. Центральная часть двух плеч диполя должна быть соединена друг с другом. Простейший способ — скрутить их вместе на небольшом участке. Затем к этой скрутке подключается коаксиальный кабель. Необходимо аккуратно зачистить около 2-3 см на конце кабеля, отогнув экран (оплетку) назад. Центральный проводник (жилу) кабеля нужно припаять к одному плечу диполя, а отогнутый экран — к другому [1](#). Для лучшего электрического контакта и механической прочности пайки настоятельно рекомендуется. В качестве альтернативы можно использовать специальный разветвитель, но этот вариант менее распространен в DIY-проектах. Важно, чтобы точки пайки были прочными и хорошо изолированными

от окружающей среды, чтобы предотвратить коррозию. После пайки место соединения можно дополнительно защитить термоусадочной трубкой или изолентой.

Третий этап — это установка и ориентация антенны. Положение антенны имеет большое значение для ее работы. Горизонтальный диполь следует устанавливать как можно выше, на уровне не менее половины своей длины от земли, и максимально далеко от крупных металлических объектов, зданий и деревьев ¹. Это обеспечивает более чистую диаграмму направленности и снижает влияние паразитных сигналов. Антенна должна быть натянута строго горизонтально. Для подвески можно использовать два высоких и прочных столба или любые другие препятствия-опоры, такие как балки дома или деревья. Расстояние между опорами должно быть равно длине всего диполя (около 1.017 метра). Концы диполя крепятся к опорам с помощью изоляторов, которые мы использовали ранее. Важно, чтобы ни одна часть антенны, кроме самих плеч, не была слишком близко к земле или металлическим конструкциям.

Заключительный и самый ответственный этап — настройка. После установки антенны необходимо проверить ее резонансную частоту. Для этого нужен измерительный прибор, такой как SWR-метр или антенный анализатор. SWR-метр подключается последовательно между передатчиком и антенной, позволяя измерить коэффициент стоячей волны (КСВ) на рабочей частоте. Цель — добиться минимального значения КСВ, ideally 1:1 (или VSWR=1.0), на целевой частоте 144 МГц. Обычно приемлемым считается КСВ до 1.5:1. Если при измерении на частоте 144 МГц КСВ оказывается высоким, это означает, что антенна электрически слишком длинная, и ее резонансная частота ниже целевой. В этом случае необходимо аккуратно укоротить оба плеча диполя на небольшую, одинаковую длину (например, по 1-2 см), снова замерить КСВ и повторять процесс до тех пор, пока не будет достигнута наилучшая согласованность на 144 МГц. Если КСВ высок на частоте ниже 144 МГц, это говорит о том, что антенна электрически слишком короткая, и ее резонансная частота выше целевой. В этом случае оба плеча необходимо удлинить на небольшую, одинаковую длину. Важно всегда корректировать длину обоих плеч одинаково, чтобы сохранить симметрию и правильную работу антенны. Этот процесс может занять некоторое время, но он абсолютно необходим для получения хорошего результата. Успешная настройка превратит простую конструкцию из проводов в эффективный инструмент связи.

Конструирование вертикальной антенны с заземленной плоскостью

Вертикальная антенна с заземленной плоскостью является второй по популярности и простоте конструкции для диапазона 144 МГц, особенно в мобильных и стационарных станциях с ограниченным пространством. Ее главное преимущество — создание почти идеально круговой диаграммы направленности в горизонтальной плоскости, что делает ее идеальной для обмена сообщениями с множеством станций в разных направлениях. В отличие от горизонтального диполя, который требует большой площади для установки, вертикальная антенна занимает мало места и легко монтируется на крыше, стене или специальной мачте. Процесс ее создания включает расчет элементов, сборку в едином узле, монтаж и настройку.

Процесс начинается с расчета необходимых размеров. Вертикальная антенна состоит из трех основных частей: одного вертикального излучателя и четырех радиальных проводников, расположенных под углом 90 градусов к нему. Для расчета длины вертикального элемента можно использовать формулу, данную в источнике 9 : $\text{Длина(дюйма)} = 2808 / F$, где F — частота в мегагерцах. Для целевой частоты 146 МГц расчетная длина составит $2808 / 146 \approx 19.23$ дюйма, что эквивалентно примерно 48.8 сантиметрам 9 . Радиали играют роль искусственной "земли", создавая плоскость, относительно которой излучает вертикальный элемент. Их длина должна быть немного больше длины вертикального элемента. Рекомендуется делать их примерно на 5% длиннее 9 . Для нашей задачи это составляет около 20.25 дюймов или 51.4 сантиметра. При нарезке радиалей рекомендуется делать их на несколько сантиметров длиннее расчетного значения, чтобы оставить запас для финальной настройки 9 . В качестве материалов для элементов можно использовать тот же медный провод, что и для диполя, или найти подходящую проволоку. В одном из проектов для этих целей использовался провод от старого кабеля типа Romex 9 .

Следующий шаг — сборка центрального узла, где все элементы антенны соединяются с коаксиальным кабелем. В качестве основы для сборки часто используется стандартный разъем SO-239 (также известный как PL-259), который предназначен для подключения к радиостанции 9 . В этом узле вертикальный элемент подключается к центральному пину разъема, а четыре радиали — к его корпусу. Для реализации этого в корпусе SO-239

просверливают четыре небольших отверстия в равномерно распределенных местах по окружности. Через каждое отверстие продевается маленький шуруп (например, 4-40), который затем затягивается. Крючком на конце провода радиуса продевают под шуруп, после чего он плотно затягивается, надежно фиксируя провод к корпусу разъема, который является экраном коаксиального кабеля 9. Вертикальный элемент припаивается к центральному пину разъема. Это делает его положительно заряженным относительно "земли", созданной радиалами. Все эти соединения должны быть прочными и хорошо изолированными.

Далее происходит монтаж всей конструкции. Одним из самых популярных и простых решений является использование ПВХ-трубы в качестве опоры. ПВХ-труба диаметром 3/4 дюйма является оптимальным выбором 9. К нижнему концу ПВХ-трубы крепится SO-239 разъем, к которому заранее подсоединен коаксиальный кабель. Внутри трубы помещается вертикальный элемент, а радиали располагаются вокруг нее. Чтобы радиали не двигались на ветру, их можно закрепить с помощью кабельных стяжек. Верхний конец ПВХ-трубы закрывается крышкой, которая также должна быть герметично закреплена 9. Эта конструкция не только служит прочной опорой, но и защищает соединения от дождя и снега. Коаксиальный кабель выводится через нижнюю часть трубы. Весь этот узел должен быть установлен как можно выше, на уровне минимум 1/4 длины волны (около 0.5 метра), и удален от крупных металлических конструкций и других антенн.

Финальным этапом является настройка и защита от влаги. Как и в случае с диполем, необходимо измерить KСВ с помощью SWR-метра или анализатора. Для вертикальной антенны с заземленной плоскостью настраивается только вертикальный элемент. Если KСВ минимален на частоте ниже 144 МГц, значит, антенна слишком длинная, и вертикальный элемент нужно укоротить. Радиали при этом не трогать, так как их длина определяет общую геометрию системы. Если резонанс выше 144 МГц, вертикальный элемент следует удлинить. Небольшие корректировки могут дать существенный результат. После того как резонанс достигнут, необходимо обеспечить долговечность конструкции, защитив все соединения от влаги. Следует обильно намазать силиконовым герметиком все места соединения: паяные места, точки входа радиалей в разъем, стык между нижней частью разъема и ПВХ-трубой, а также верхний стык с крышкой 9. Хорошо выполненная герметизация предотвратит коррозию и позволит антенне работать исправно на протяжении многих лет.

Продвинутый вариант: Изготовление трехэлементной Yagi-Uda антенны

Yagi-Uda антенна представляет собой следующий шаг в развитии DIY-проектов, предлагая значительно более высокое усиление и направленность по сравнению с диполем или вертикальной антенной. Это достигается за счет использования нескольких пассивных элементов — директоров и отражателя, которые "направляют" энергию в одном направлении. Хотя Yagi-антенна значительно сложнее в расчетах и сборке, существуют упрощенные DIY-проекты, которые позволяют собрать эффективное устройство без использования профессионального программного обеспечения. В данном разделе будет рассмотрена конструкция трехэлементной Yagi для 144 МГц, основанная на реальном проекте, который успешно реализован радиолюбителем [6](#).

Структура трехэлементной Yagi состоит из трех типов элементов: самого длинного элемента, который служит отражателем (Reflector), элемента средней длины, являющегося активным излучателем (Driven Element), и самого короткого элемента, который называется директором (Director) [6](#). Все эти элементы крепятся параллельно к горизонтальной перекладине, или мачте (Boom). Расположение и длина этих элементов строго регламентированы и критически важны для достижения желаемых характеристик усиления и коэффициента стоячей волны (КСВ). В отличие от простого диполя, где импеданс близок к 70 Ом, импеданс Yagi-антенны может значительно отличаться от стандартных 50 Ом, что требует специальных техник для согласования.

Рассматриваемый проект использует в качестве мачты алюминиевый профиль размером 10x10 мм [6](#). В качестве элементов применяются стержни из нержавеющей стали М4 (диаметр около 4 мм). В качестве изоляторов между элементами и мачтой используются нейлоновые втулки [6](#). Размеры элементов, полученные путем моделирования и адаптированные для этих конкретных материалов, приведены в таблице ниже.

| Элемент | Расчетная длина (мм) | Комментарий |
|------------------|----------------------|---|
| Отражатель | 1050 | Самый длинный элемент, располагается за активным элементом. |
| Активный элемент | 940 - 960 | Общая длина, регулируется настройкой. |
| Директор | 890 | Самый короткий элемент, располагается перед активным элементом. |

Данные основаны на информации из источника [6](#).

Процесс сборки начинается с подготовки мачты. Необходимо точно отметить на алюминиевом профиле места для крепления элементов. Отражатель устанавливается на одном конце, директор — на другом, а активный элемент располагается между ними. Расстояния между элементами также являются критичными параметрами. После того как все элементы будут отрезаны до нужной длины (с небольшим запасом для настройки), их нужно просверлить в центре, чтобы можно было протянуть через них проволочный крепеж или использовать специальные хомуты. Каждый элемент устанавливается на мачту с помощью нейлоновых втулок, которые обеспечивают необходимую изоляцию. Затем элементы надежно фиксируются на месте, например, с помощью стальных стяжек или проволоки.

Ключевой момент в сборке Yagi — это организация подключения к активному элементу. В отличие от простого диполя, где питание подается непосредственно к центру, в данной конструкции используется метод смещенного подключения [6](#). Активный элемент выполнен в виде обычного диполя, но его плечи проходят сквозь отверстие в мачте. К этим двум плечам подключается коаксиальный кабель. Соединение центральной жилы кабеля с одним плечом, а экрана — с другим, создает дифференциальное питание. Такой метод не только обеспечивает механическую прочность, но и сам по себе является элементом согласования импеданса. В исследовании [6](#) автор сообщает, что благодаря этому методу удалось достичь импеданса нагрузки 51 Ом, что очень близко к 50 Ом, и получить KCB 1.1:1 на частоте 145 МГц без дополнительных компонентов согласования. Это демонстрирует, что грамотно спроектированная механическая конструкция может решить проблему согласования.

После завершения сборки всей конструкции необходимо провести тщательную настройку. Процесс аналогичен настройке диполя, но он может быть более чувствительным. С помощью антенного анализатора или SWR-метра измеряется KCB. Если резонанс находится не на целевой частоте, корректировать нужно длину активного элемента. Его следует укорачивать, если резонанс ниже целевой частоты, и удлинять, если выше. Важно помнить, что изменение длины активного элемента может повлиять на взаимодействие с директором и отражателем, поэтому корректировки должны производиться небольшими порциями с повторными замерами. В некоторых случаях для достижения идеального согласования может потребоваться добавление небольшой

емкостной или индуктивной нагрузки, например, с помощью небольшого конденсатора, подключенного к точке питания [3](#). Однако для рассмотренного DIY-проекта это оказалось не обязательно благодаря продуманной геометрии. Yagi-антенна, собранная по этим принципам, станет мощным и направленным инструментом для дальних связей (DX) в диапазоне 144 МГц.

Тестирование, настройка и герметизация антенны

Успешное изготовление антенны — это не только ее правильный расчет и сборка, но и обязательный этап проверки, настройки и защиты от внешних воздействий. Без этих процедур даже самая качественно сделанная антенна может не показывать ожидаемых результатов или быстро выйти из строя. Этот раздел объединяет практические рекомендации по измерению ключевых параметров работы антенны, ее тонкой настройке для достижения максимальной эффективности и обеспечению долговечности конструкции путем герметизации всех соединений.

Первоочередной задачей после сборки любой антенны является ее тестирование и настройка. Основным параметром, характеризующим качество согласования антенны с системой передачи, является коэффициент стоячей волны (КСВ), также известный как VSWR. КСВ показывает, какая часть мощности передатчика отражается от антенны обратно к нему из-за несовпадения их импедансов. Идеальное значение КСВ — 1:1, что означает отсутствие отраженной волны. На практике для большинства радиоспортивных приложений приемлемым считается КСВ до 1.5:1. Для точного измерения КСВ необходим либо специализированный прибор — антенный анализатор, либо более простой SWR-метр [6](#) [9](#). Антенный анализатор позволяет не только измерить КСВ на одной частоте, но и построить график его изменения по всему интересующему диапазону, что дает гораздо больше информации. SWR-метр, в свою очередь, требует наличия передатчика и показывает КСВ только на той частоте, на которой в данный момент работает радиостанция.

Процесс настройки сводится к корректировке физической длины элементов антенны для достижения минимального КСВ на целевой частоте (например, 144 МГц). Правило простое: если резонанс антенны ниже целевой частоты, ее необходимо укоротить; если резонанс выше — удлинить [6](#). Важно всегда изменять длину всех резонансных элементов симметрично. Например, при

настройке полуволнового диполя оба его плеча должны быть укорочены или удлинены на одинаковую величину. Для Yagi-антенны, как правило, настраивается только активный элемент. Небольшие корректировки, в сотые доли миллиметра, могут значительно повлиять на резонансную частоту. Поэтому процесс настройки требует терпения и аккуратности. Некоторые радиолюбители предпочитают делать элементы немного длиннее расчетных и укорачивать их постепенно во время тестирования, что позволяет избежать ситуации, когда антенна была укорочена слишком сильно.

После того как антенна настроена на нужную частоту, следующим шагом является обеспечение ее долговечности, особенно если она предназначена для эксплуатации на открытом воздухе. Главные враги самодельных антенн — это влага и ультрафиолетовое излучение солнца. Влага, попадая в места пайки или скрутки, вызывает коррозию металлов, что со временем нарушает электрический контакт и ухудшает характеристики антенны. Ультрафиолет разрушает многие виды пластиков и изоляционных материалов. Поэтому герметизация всех соединений является обязательным этапом. Для этой цели отлично подходит бытовой силиконовый герметик. Необходимо тщательно обработать все уязвимые места: места пайки центрального проводника и экрана к элементам антенны, точки входа радиалей в разъемы, стыки между различными частями конструкции (например, между SO-239 разъемом и ПВХ-трубой в вертикальной антенне) и верхняя крышка корпуса [9](#). Следует нанести герметик достаточно толстым слоем, полностью покрывая все соединения и защищая их от прямого контакта с водой и воздухом. После высыхания герметик создаст прочную, эластичную и водонепроницаемую оболочку, которая продлит срок службы антенны на годы.

В заключение, комплексный подход, включающий точные расчеты, аккуратную сборку, тщательное тестирование с помощью измерительных приборов и надежную герметизацию, позволяет создать эффективную и долговечную антенну для частоты 144 МГц своими руками. Начинать следует с простых конструкций, таких как диполь или вертикальная антенна с заземленной плоскостью, которые отлично подойдут для обучения и обеспечат хорошие результаты в любительской радиосвязи. Освоив их создание, можно переходить к более сложным, но и более мощным конструкциям, таким как Yagi-Uda, открывая новые возможности для дальних связей.

Справка

1. Dipole Calculator | Antenna Length Calculator <https://www.omnicalculator.com/physics/dipole>
2. How does the diameter of an open ended tube affect the frequency? <https://physics.stackexchange.com/questions/311265/how-does-the-diameter-of-an-open-ended-tube-affect-the-frequency>
3. On the Effects of Driven Element L/D Ratio and Length in VHF-SHF ... <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=123349>
4. Pipe Diameter and End Correction of a Resonant Standing Wave https://www.researchgate.net/publication/265233586_Pipe_Diameter_and_End_Correction_of_a_Resonant_Standing_Wave
5. Antenna Fundamentals | PDF | Antenna (Radio) | Very High Frequency <https://www.scribd.com/document/709089791/16>
6. 2M Yagi Antenna : 5 Steps - Instructables <https://www.instructables.com/2M-Yagi-Antenna/>
7. Homebrew 144 MHz Coaxial Dipole Antenna flower pot by Andrew ... <https://www.pinterest.com/pin/667517976029305472/>
8. ARRL AC v2 | PDF | Antenna (Radio) | Capacitor - Scribd <https://www.scribd.com/document/667288947/ARRL-AC-v2>
9. How To Build A 2 Meter Vertical Antenna? - FMUSER <https://www.fmradiobroadcast.com/article/detail/how-to-build-a-2-meter-vertical-antenna.html>
10. [PDF] SPEND & SAVE - Element14 https://au.element14.com/wcsstore/ExtendedSitesCatalogAssetStore/cms/asset/pdf/apac/common/connect/c27/connect27_au.pdf