

Понимание компонентов Guanella (балунов)



[шабаз](#) 9 сент. 2022 г.

Оглавление

- [Введение](#)
- [Начало работы: синфазные, дифференциальные токи и дроссели](#)
- [Линии передачи](#)
- [Собираем вместе: «Система катушек»](#)
- [Системы с несколькими катушками](#)
- [Реальные балуны](#)
 - [Расчеты высокого уровня](#)
 - [Параллельные и витые провода](#)
- [Полезные ресурсы](#)
- [Краткое содержание](#)

Примечание. В этом сообщении блога обсуждается только один тип балуна; есть и другие. Потребуется дальнейшие исследования, чтобы изучить балуны за пределами этого фундамента; в конце этого сообщения в блоге есть ссылки для дальнейшего чтения.

Введение

Балуны чрезвычайно удобны для преобразования между симметричными и несимметричными сигналами (название происходит от BALanced-

UNbalanced), но они также могут быть чрезвычайно полезны для выполнения преобразований импеданса с (почти) без потерь, и, в отличие (скажем) от LC-схем, многие Балуны могут работать в очень широком диапазоне частот. В радиочастотном мире балуны могут использоваться для сопряжения антенн с радиопередатчиками и приемниками, чтобы обеспечить передачу максимально возможной мощности. Этот пост в блоге содержит немного теории (без особой математики) и содержит ссылки на некоторые практические реализации.

На фото представлен типовой балун ([Минисхемы ФТБ-1-6](#) , предназначенные для использования в диапазоне от 10 кГц до 125 МГц); он имеет порт разъема на обоих концах. Он находится в металлическом корпусе, поэтому сбалансированный конец имеет разъем BNC, изолированный от экрана несимметричного конца.



(Источник изображения:

веб-сайт Minicircuits)

К концу этой записи в блоге у вас должна быть некоторая уверенность в том, что вы сможете создать свой собственный; возможно, не в той же спецификации, но, по крайней мере, это не будет стоить 50 долларов.

Вот еще один, гораздо более дешевый, готовый балун; Pulse [Yageo CX2045LNL](#), показанный на фотографии ниже, предназначен для работы в диапазоне от 3 МГц до 300 МГц и имеет коэффициент трансформации импеданса 1:2.



(Источник изображения:

веб-сайт Farnell)

Обратите внимание, что не все балуны будут разработаны с использованием методов, обсуждаемых в этом сообщении блога; в таблицах данных это не упоминается, поскольку это не имеет отношения к функциональности «черного ящика» балуна. Некоторые балуны могут быть даже спроектированы как обычные трансформаторы, если они не должны быть особенно широкополосными.

Начало работы: синфазные, дифференциальные токи и дроссели

Густав Гуанелла был швейцарским изобретателем из компании Brown Boveri (позже ставшей

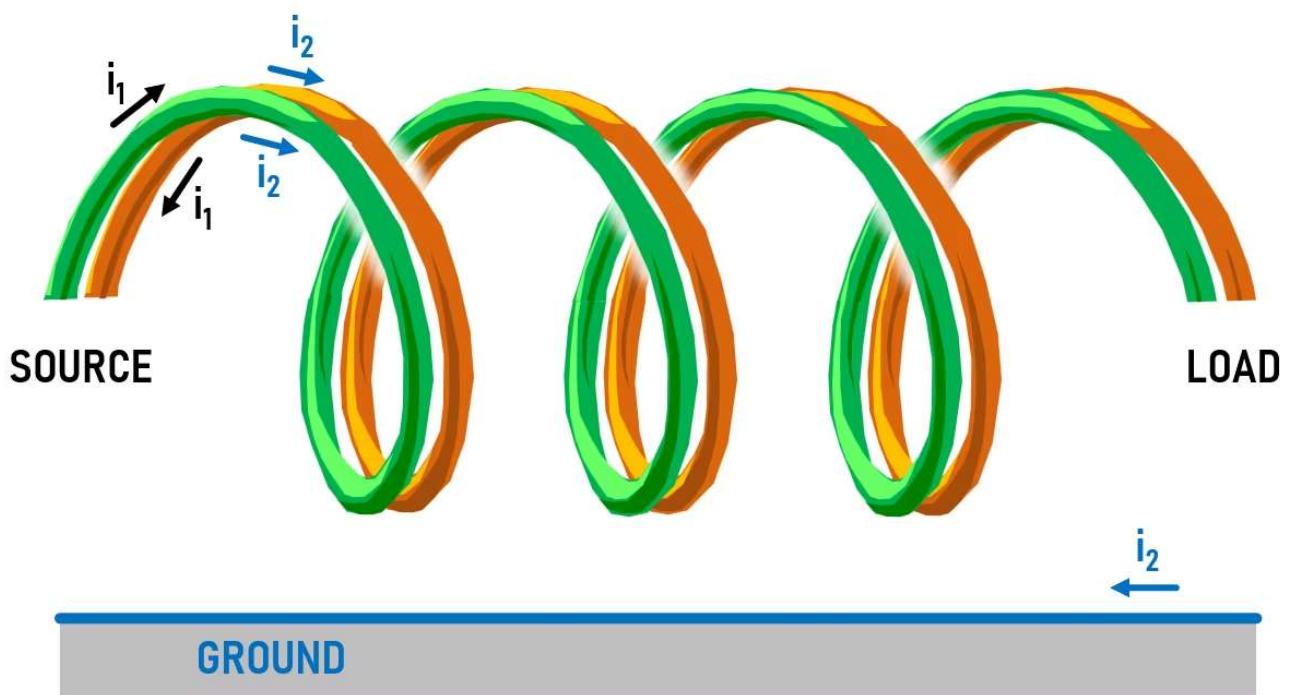
известной современной промышленной фирмой АВВ), который разработал коммуникационную технологию, особенно в 1940-х годах, которая используется до сих пор. Этот пост в блоге посвящен только одному из его изобретений, электрическому компоненту, который на первый взгляд представляет собой немногим больше, чем проволочные обмотки вокруг ферритового материала.

Короче говоря, компоненты на основе гуанеллы основаны на намотанных проводах, линиях передачи и индуктивности. Этот пост в блоге медленно расскажет, что это такое и как его можно использовать.

Диаграмма здесь показывает, что это такое. Если бы у вас был одиночный намотанный провод, он имел бы индуктивность, возникающую из-за магнитного поля, которое проявляет провод, когда через него проходит ток. Это типичный индуктор, катушка с одинарной обмоткой, полное сопротивление которой увеличивается по мере увеличения частоты приложенного переменного напряжения из-за изменяющегося магнитного потока, вызывающего обратную ЭДС, которая уменьшает изменяющийся ток через катушку.

Если у вас есть два провода, расположенных близко друг к другу, с источником на одном конце и сопротивлением нагрузки на другом конце, то ток, протекающий по двум проводам, симметричен,

магнитное поле уравнивается, и поэтому индуктивность значительно уменьшается. Это показано черными стрелками i_1 на диаграмме (хотя и не показано, представьте, что резистор припаян к проводам на конце, обозначенном как нагрузка); ток проходит по зеленому проводу, через резистор, а затем обратно по оранжевому проводу.



Однако, если на обоих проводах есть синфазный сигнал, представленный i_2 , вы можете представить, что обратный путь может быть, например, заземлением (он не обязательно должен быть заземлен). Хотя это и не показано, этот путь к земле может быть, скажем, через паразитное высокое сопротивление или, возможно, через емкость между проводами и шасси. Поскольку ток течет по обоим проводам в одном и том же направлении, это несимметричное синфазное

направление не компенсирует магнитное поле, и две катушки действуют как индуктор для синфазного сигнала.

Если бы две катушки были намотаны вокруг ферритового материала, то феррит поглощал бы часть энергии синфазного сигнала, превращая ее в тепло. Две катушки и феррит станут синфазным дросселем, и он будет работать следующим образом: любой сигнал i_1 будет проходить без (значительных) потерь из-за уменьшенной индуктивности для дифференциальных сигналов, как упоминалось ранее. С другой стороны, радиочастотный шум (например, электромагнитный источник, возможно, шум переключения от преобразователя постоянного тока), вероятно, будет улавливаться в равной степени обоими проводами, подключенными к источнику, и будет уменьшаться с помощью дросселя, поскольку это обычное явление. сигнал режима. Все это типичный пример использования синфазного дросселя.

Линии передачи

Следующим шагом в понимании компонентов Guanella является понимание свойств параллельных (или витых, или коаксиальных) проводов. Если пары проводов расположены вместе «в самый раз», то их последовательная индуктивность и параллельная емкость вместе

заставляют провода выглядеть как чистое сопротивление, пока сигнал не достигнет дальнего конца. Это не зависит от длины пары проводов. Это чистое сопротивление может составлять 50 Ом с реальными диаметрами проводов и изоляции без особых усилий. Возможны и другие значения путем изменения толщины провода или изоляции и расстояния между парами. Каким бы ни было значение, оно известно как волновое сопротивление пары проводов. Пара проводов называется линией передачи. Когда вы покупаете коаксиальный кабель на 50 Ом, вы покупаете линию передачи с волновым сопротивлением 50 Ом.

Вы можете во всех смыслах учитывать, что если у вас есть коаксиальный кабель на 50 Ом любой длины, то жила и экран на одном конце будут вести себя точно так же, как резистор на 50 Ом, по крайней мере, до тех пор, пока сигнал не успеет пройти до конца коаксиального кабеля (через распределенную емкость и индуктивность коаксиального кабеля) и отражаются обратно от отключенного дальнего конца. Если конец коаксиального кабеля подключить к реальному резистору на 50 Ом, то коаксиальный кабель всегда будет выглядеть как резистор на 50 Ом по отношению к источнику. Существует очень популярное видео, в котором развивается мысленный эксперимент (можно провести аналогичные эксперименты, и результат будет таким же) с использованием пар проводов и

лампочки; лампочка загорается почти сразу, потому что пары проводов сразу выглядят как (относительно низкое)

сопротивление: <https://www.youtube.com/watch?v=bHlhgxav9LY>

Все вышеизложенное означает, что если сопротивление нагрузки соответствует характеристическому сопротивлению линии передачи, то источник будет видеть чистое сопротивление, независимо от длины линии передачи, и (как было выведено выше) не будет воздействия, если линия передачи намотана в катушке и независимо от того, намотана ли она на ферритовый материал.

Сопротивлением нагрузки может быть настоящий резистор на 50 Ом; вы можете купить их, установленные внутри коаксиального терминатора, или вы можете припаять обычный 50-омный резистор, который будет работать в качестве нагрузки.

Собираем вместе: «Система катушек»

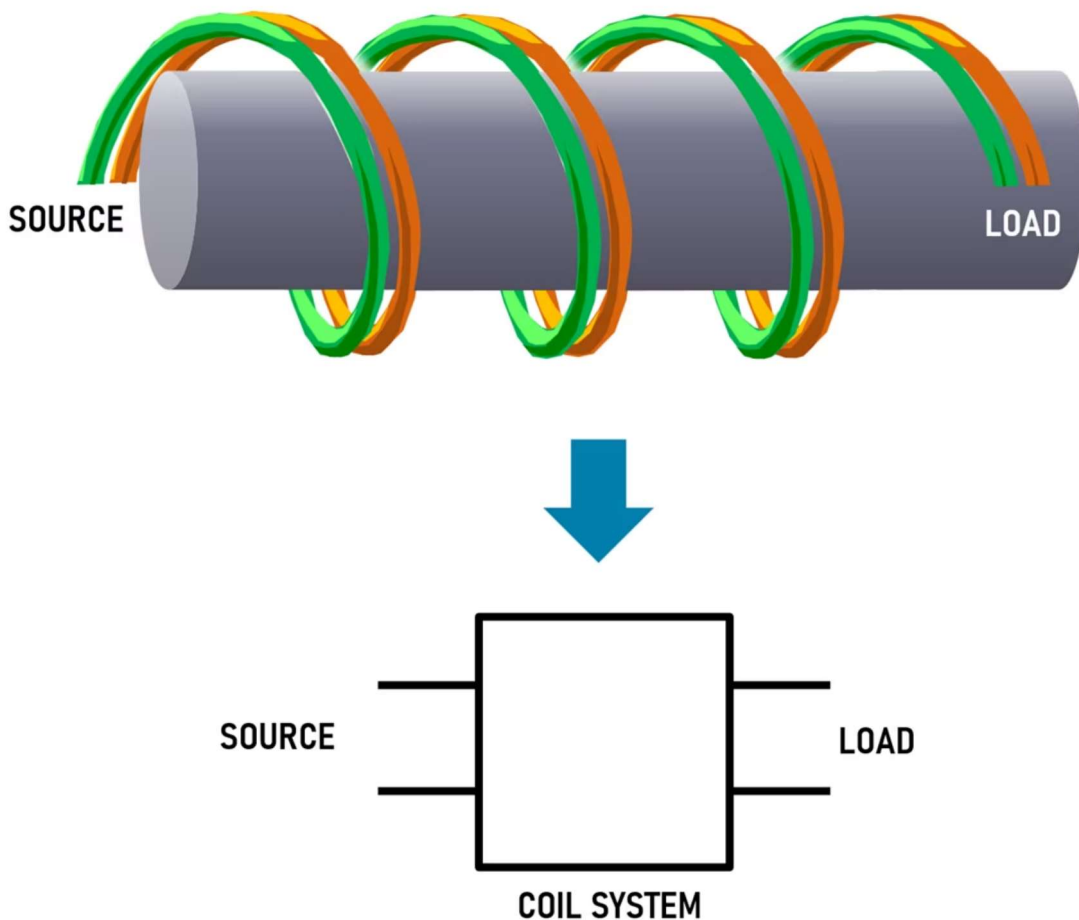
Подводя итоги, можно сказать, что два близких провода, намотанных на ферритовый сердечник, действуют так, как если бы это были два обычных провода с небольшой индуктивностью, для симметричного протекания тока, но действуют как дроссель для асимметричного протекания тока.

Круто то, что при использовании эффекта линии передачи для симметричного протекания тока обмотка, феррит и сопротивление нагрузки вместе выглядят как одно чистое сопротивление.

Перефразируя еще раз, все это выглядит как резистор на 50 Ом. Измерение с помощью мультиметра, конечно, даст показания 50 Ом, так как это сопротивление нагрузки, но если вы примените сигнал переменного тока, вы все равно увидите нагрузку 50 Ом, тогда как можно было бы ожидать, что импеданс будет выше. из-за индуктивности, если две обмотки были разделены. Таким образом, компонент Guanella до сих пор действует как чистый резистор 50 Ом для симметричных сигналов, но действует как высокоимпедансный для асимметричных сигналов. Это почти как трансформатор (за исключением задержки линии передачи), поскольку высокий импеданс является изоляцией. Конечно, эта изоляция действительно только для переменного тока, потому что дроссель не блокирует постоянный ток.

С таким компонентом, который ведет себя как чистый резистор в сочетании с трансформаторной изоляцией, можно делать очень интересные вещи, хотя на самом деле это пара обмоток и феррит. Феррит может быть в форме стержня, тороида или многоапертурного (например, бинокулярного).

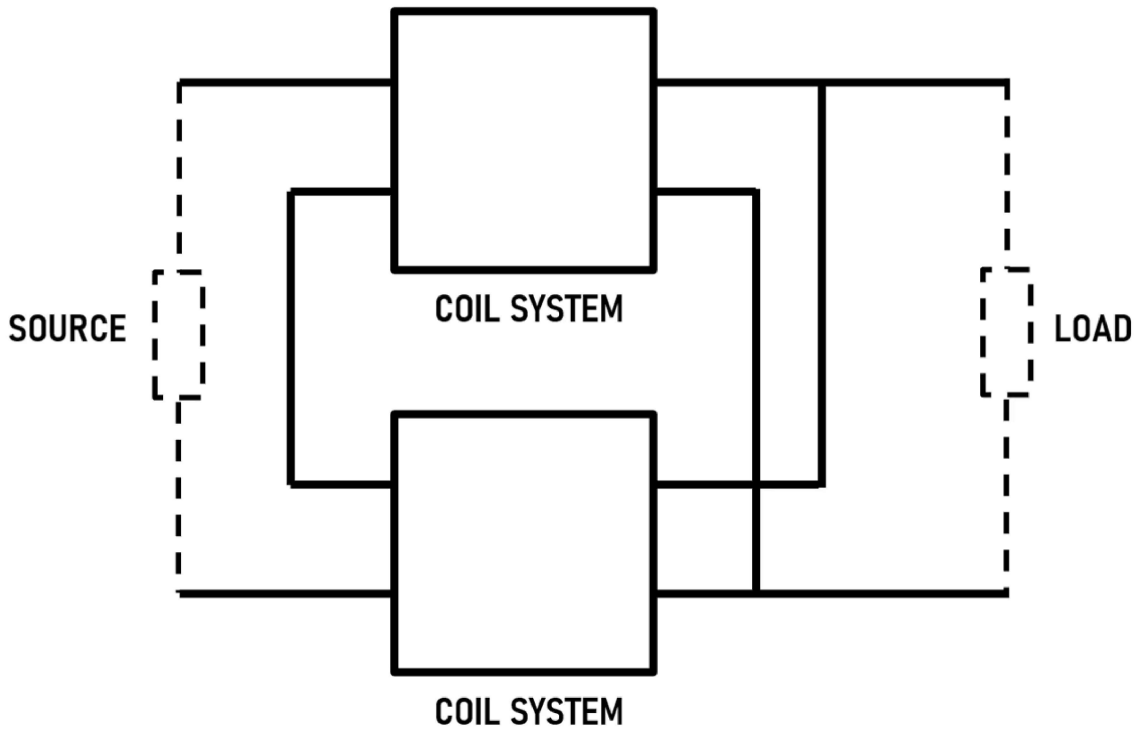
Гуанелла назвал свой компонент (состоящий из пары проводов и ферритового материала) катушечной **системой**, и его также можно назвать балуном, термин, который, как упоминалось ранее, означает сбалансированный-несбалансированный, потому что вы можете использовать его для взаимодействия симметричный сигнал в несбалансированный (например, относительно земли) сигнал или наоборот.



На приведенной выше диаграмме импеданс источника равен характеристическому импедансу линии передачи, и импеданс нагрузки также должен быть установлен на то же значение.

Системы с несколькими катушками

На приведенной ниже диаграмме показан пример того, как две системы катушек могут быть объединены для достижения полезной цели. Топология такова, что левые стороны систем катушек соединены последовательно, а правые стороны соединены параллельно. Если импеданс линии передачи составляет 50 Ом, то левая сторона может использоваться для согласования импеданса 100 Ом с импедансом 25 Ом на правой стороне. Преобразование импеданса происходит без потерь, поскольку симметричные сигналы могут проходить через систему катушек без потерь. Это преобразование импеданса теоретически может произойти для входного сигнала любой частоты, поскольку анализ уже определил, что для симметричных сигналов индуктивность мала; вся система широкополосная.



Это преобразование чрезвычайно удобно для согласования антенн с радиопередатчиками или приемниками, которые, возможно, потребуется настроить в широком диапазоне (если радио предназначено только для работы на одной частоте, то вместо этого можно использовать схему LC для выполнения согласования; иногда используется перестраиваемая LC-схема). Другим важным моментом решения, разработанного компонентом Guanella, является то, что, как упоминалось ранее, изоляция переменного тока позволяет преобразовывать несбалансированную выходную схему в сбалансированный выход.

Вы можете комбинировать дополнительные системы катушек для достижения различных преобразований импеданса. Например, если у вас есть четыре системы катушек, все

последовательно на входе и все параллельно на выходе, то это было бы полезно для преобразования с 200 Ом на 12,5 Ом, если характеристическое сопротивление линий передачи составляло 50 Ом. . Между прочим, вы всегда можете вычислить требуемый характеристический импеданс, используя эту быструю формулу (это формула среднего геометрического, отличная от среднего арифметического!):

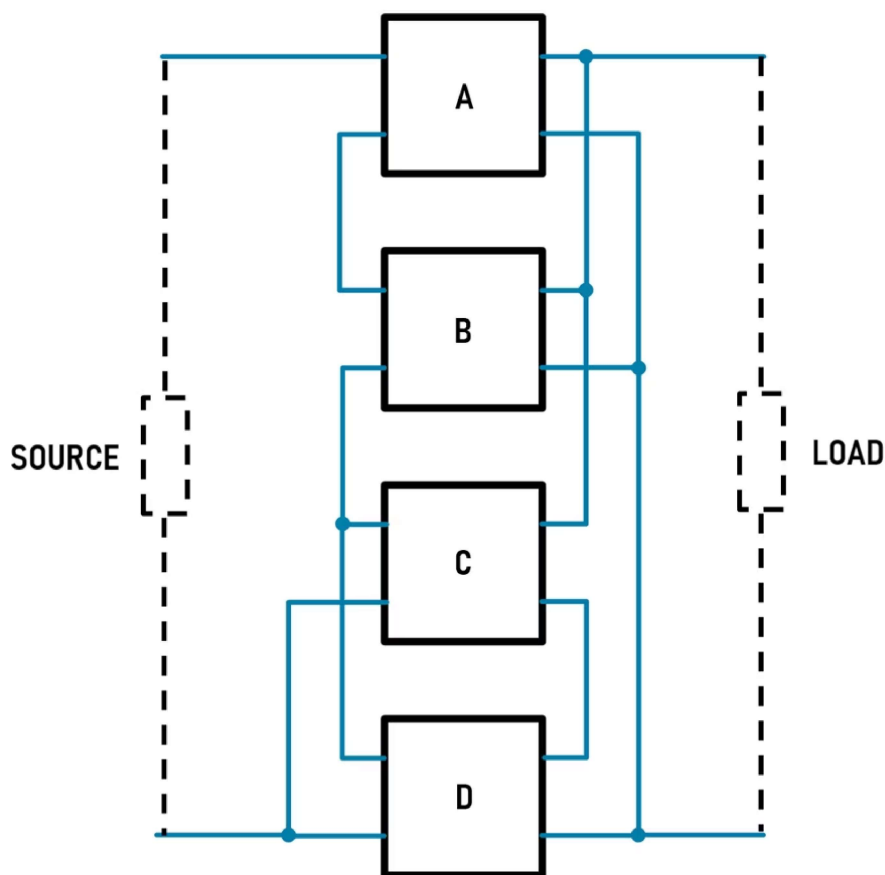
$Z_0 = \sqrt{Z_1 * Z_2}$ где Z_1 и Z_2 - входное и выходное сопротивления соответственно.

Что, если вы хотите преобразовать сопротивление с 300 Ом примерно до 19 Ом? Решением было бы по-прежнему использовать четыре системы катушек, но немного ослабить расстояние между проводами внутри каждой системы катушек, чтобы характеристическое сопротивление увеличилось с 50 Ом до 75 Ом.

Обобщая эту концепцию, вы можете видеть, что, объединяя n систем катушек последовательно с левой стороны и параллельно с правой стороны, вы можете выполнять преобразования импеданса с отношениями n^2 : 1 с импедансом $n * Z_0$ на слева и $(1/n) * Z_0$ справа, где Z_0 может находиться в приблизительном диапазоне 30-120 Ом, для реальных размеров проводов и изоляции.

В 1972 году Дональд МакКлюр использовал системы катушек Guanella, чтобы предложить целый ряд комбинаций, обеспечивающих множество коэффициентов трансформации, отличных от $n+2:1$.

Его метод основан на наблюдении, что для полезных конфигураций вы всегда можете соединить левые стороны параллельно или последовательно, при условии, что вы соедините другие стороны противоположным образом. Вот пример, который обеспечивает преобразование импеданса 6,25:1 (т. е. 50 Ом в 8 Ом, если характеристическое сопротивление пар проводов составляет 20 Ом), и если вы посмотрите на системы катушек, помеченные A и B, вы увидите, что они соединены последовательно с левой стороны, но подключены противоположным образом, т.е. параллельно, с правой стороны. Точно так же системы катушек C и D параллельны с левой стороны и последовательно с правой стороны. Группа AB последовательно с группой CD слева, но группа AB параллельна группе CD справа.



Дональд МакКлор использовал свои собственные уникальные обозначения для описания конфигураций. Например, описанная выше левая сторона конфигурации будет описана как:

$$\begin{matrix} 2S \\ 2P \end{matrix} > S$$

В приведенном выше обозначении 2S означает, что две системы катушек соединены последовательно, 2P означает, что две системы катушек соединены параллельно, а S означает, что результирующие подсистемы из предыдущего шага соединены последовательно. Правую часть можно описать, заменив P на S и наоборот.

Похоже, что таблица конфигураций Макклюра когда-либо была опубликована (помимо первоначальной патентной информации) только в отраслевом журнале под названием RF Design в феврале 1994 года на странице 65, и она доступна для просмотра в Интернет-архиве, и я не знаю. хочу предоставить скриншот здесь на случай, если на него все еще есть авторские права.

Реальные балуны

На практике балуны можно изготовить разными способами. Одним из популярных методов является использование коаксиального кабеля в качестве пары проводов, а в некоторых конструкциях коаксиальный кабель пропускается через туннель, образованный из множества ферритовых тороидов, отчасти потому, что это часто проще сделать, чем обернуть коаксиальный кабель вокруг ферритового сердечника. .

Другой метод заключается в использовании двух параллельных проводов или, альтернативно, скрученных проводов, а затем многократном пропускании их через тороид. В обоих случаях цель состоит в том, чтобы попытаться подавить все синфазные сигналы, позволяя всем дифференциальным сигналам проходить через линию передачи.

Расчеты высокого уровня

Если вы хотите построить балун, высокоуровневые расчеты не слишком сложны. *Примечание: на практике вы можете обнаружить, что некоторые вещи нужно немного подправить. Например, предполагается, что волновое сопротивление не изменяется, когда пара проводов намотана на феррит; на практике есть очень небольшое изменение.*

Высокоуровневая цель состоит в том, чтобы получить линию передачи с требуемым волновым сопротивлением (например, 50-омный коаксиальный кабель или, скажем, 100-омные витые провода, отделенные от кабеля Ethernet, или скрученные или параллельные провода самостоятельно), а затем создать ситуацию (например, с ферритами), где импеданс намного выше (скажем, как минимум в 10 раз, но более предпочтительно в 20 раз или более) для частот, на которых вы хотите использовать балун. Вот рабочий пример, где предполагается, что балун с импедансом 50 Ом необходим для работы с сигналами 30 МГц и выше (на практике нет ничего необычного в том, что балун работает на частоте, в 10 раз превышающей минимальную, или даже больше, поэтому разрабатываемый здесь балун вполне может работать на частотах выше 300 МГц).

Импеданс дросселя должен быть не менее 500 Ом, но гораздо лучше минимум 1000 Ом, так что давайте использовать его. Необходимо определить индуктивность. На частоте 30 МГц индуктивность 5,3 мкГн обеспечит импеданс 1000 Ом ($\text{impedance} = 2 * \pi * \text{freq} * \text{inductance}$).

Затем можно было выбрать ферритовый сердечник или тороид. Существуют сотни вариантов тороида, поэтому он будет использоваться в этом примере. Для выбора тороида можно использовать отличную программу [Coil64](#). Его размеры должны соответствовать линии передачи; например, толстый коаксиальный кабель может не подойти к маленькому тороиду. Кроме того, вы должны убедиться, что тороид подходит для работы в качестве дросселя на интересующих частотах, увидев, что программа Coil64 заявляет, как показано на снимке экрана ниже. Программа укажет количество витков, которое обеспечит нужную индуктивность. В этом примере, если **FT-50-43** был использован тороид, то линия передачи должна была бы пройти через феррит три раза (программа Coil64 точна, но ферриты нет :) также, это целочисленный результат; лично я бы использовал в этом случае дополнительный виток, чтобы обеспечить большую уверенность в наличии желаемой минимальной индуктивности).

Coil64 v2.1.21

File Actions Additional calculations Ferrite cores **Branded cores** Customize Help

A Amidon™ inc. Cores

Inductance: **5.3** microH

FT-50-43

Select the coil form

- One layer close-winding coil
- One layer coil with round wire
- One layer coil with rect wire
- One layer coil on a polygonal former
- Multilayer coil
- Multilayer coil with insulated pads
- Multilayer coil on a rectangular former
- Multilayer foil-wound coil
- Ferrite toroid coil**
- PCB flat coil
- Tesla flat spiral coil

Information

Initial magnetic permeability (μ_i): 850
 Saturation flux density (B_s): 2950 Gs
 Residual flux density (B_r): 1310 Gs
 Coercive Force (H_c): 0.45 Oe
 Curie Temperature: 135 °C
 Dimensions (OD x ID x H): 12.7 x 7.1 x 4.8 mm
 A_L factor: 440 nH/N²

Working frequency:
 Resonant circuit coils = 0.01-1 MHz
 Wideband transformers (TLT) = 1-50 MHz
Chokes = 30-600 MHz

Iron powder toroids Ferrite toroids

Select material of the toroid: **43**

Select dimension type of the toroid: **FT-50**

Toroid code
 Letter indicates Alternate Height
FT-50A-43C
 OD in 100th inches
 Micrometals Mix. No.
 Letter indicates Coating

Result
Number of turns of the coil N = 3
 Maximum wire diameter dw_max = 1.721 mm (14 AWG)

Вот и все; Балун был разработан! На практике, как уже упоминалось, если коаксиальный кабель слишком толстый, чтобы обернуть его вокруг феррита, вы можете использовать несколько ферритов и продеть коаксиальный кабель только через середину.

Параллельные и витые провода

Коаксиальный кабель уже доступен в версиях на 50 Ом и 75 Ом. Для параллельных или витых пар проводов рассчитать характеристическое сопротивление сложнее, однако здесь

предлагаются некоторые рекомендации (я обновляю или дополню этот список, если у людей будет больше реального опыта и они смогут дать совет в комментариях). :

Для характеристического сопротивления 100 Ом проще всего использовать готовую витую пару из кабелей Ethernet.

Для 50 Ом, если вы используете эмалированный медный провод, вот рекомендации:

Для провода 32 AWG (диаметр 0,2 мм) вы можете скрутить провод со скоростью около 10 витков на дюйм или, в качестве альтернативы, если вы можете разместить нескрученные провода друг против друга бок о бок, тогда сопротивление будет приемлемым на уровне чуть более 50 Ом. . Можно купить готовый спаренный провод, склеенный между собой; это называется бифилярная проволока.

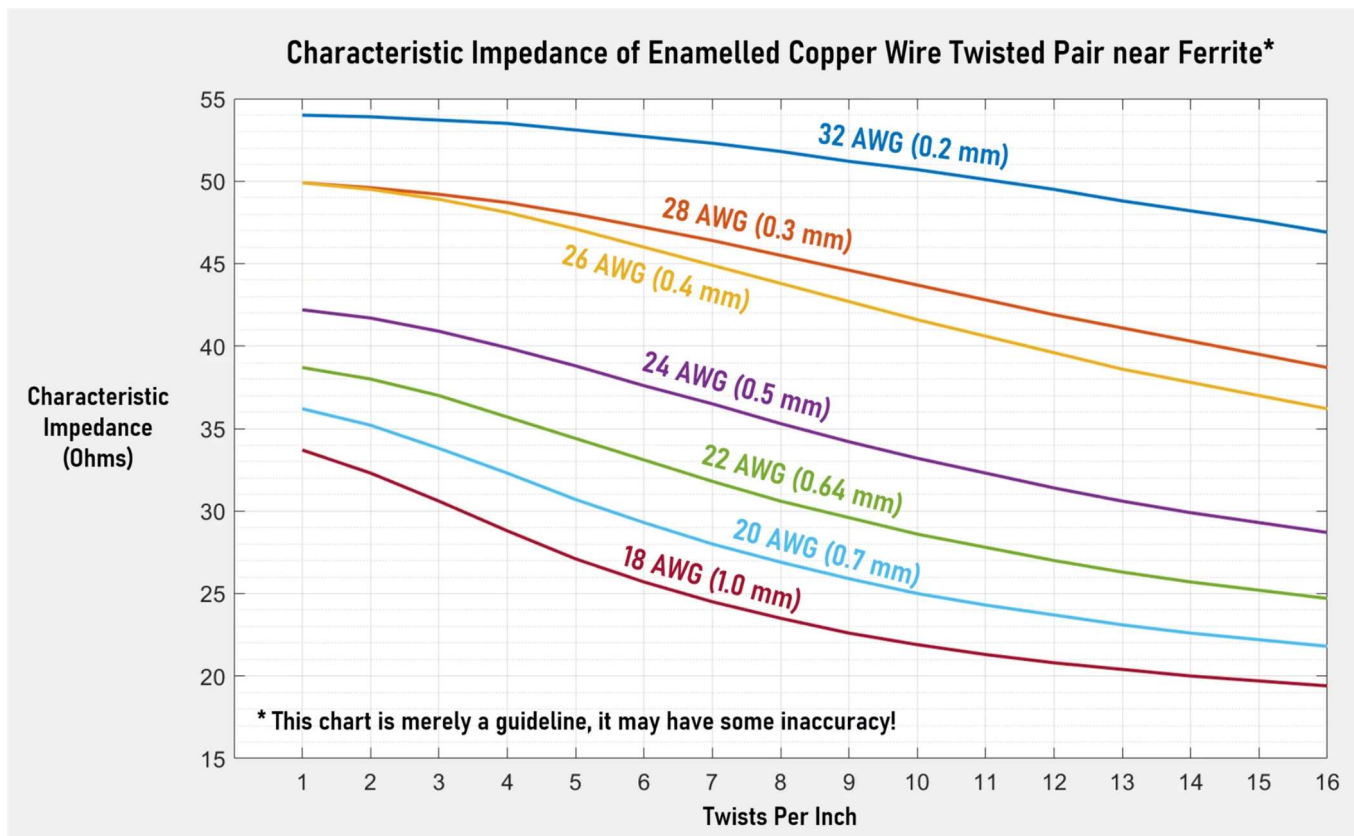
Для 28 AWG (0,3 мм) рекомендуется несколько витков на дюйм (возможно, 3 витка на дюйм); можно также использовать параллельные нескрученные провода (бифилярные).

Для провода 26 AWG (0,4 мм): не более 2 витков на дюйм; параллельный (бифилярный) провод тоже подойдет.

Для 24 AWG (0,5 мм) допустим параллельный провод, обеспечивающий волновое сопротивление

чуть менее 50 Ом; если будут какие-то скрутки, то волновое сопротивление упадет до 40 Ом, если скрутка будет около 2 витков на дюйм.

Что делать, если требуется другое характеристическое сопротивление? Например, если вы комбинируете системы катушек для преобразования импеданса? В этом случае диаграмма ниже может помочь в качестве отправной точки, однако я основывал ее на значениях «палец в воздухе», включенных в работу под названием «Линия передачи по витой паре» Питера Лефферсона. Если у кого-то есть другие реальные значения, даже одна или две точки данных, сообщите мне об этом в комментариях, и я смогу использовать это для уточнения всех точек данных для всей диаграммы. См. ниже экспериментальный файл Excel, если вы хотите попробовать другие значения. Я также не гарантирую, что это будет точно; пожалуйста, дайте мне знать, если вы считаете, что что-то в нем нужно изменить.



Полезные ресурсы

Если вы хотите сделать свои собственные балуны или посмотреть, как балуны используются на практике, мне были рекомендованы следующие веб-ссылки; и из того, что я могу сказать, информация хорошая:

<https://www.dj0ip.de/balun-stuff/>

<https://www.g0ksc.co.uk/construction/creatingabalun.html>

<http://www.karinya.net/g3txq/baluns/baluns.pdf>

Краткое содержание

В этом сообщении в блоге обсуждалось, что такое компонент Guanella, как его можно использовать в качестве балуна и как его можно использовать для преобразования импеданса, а также как спроектировать его хотя бы на разумно высоком уровне, готовым к тестированию или использованию. В конце концов, в более позднем сообщении в блоге я создам несколько балунов и опишу эксперименты с ними, но было бы интересно услышать и об экспериментах или опыте других людей с такими устройствами.

Спасибо за прочтение!

[характеристика импеданса_calculator_rev1.xlsx](#)



[шабаз](#) 8 месяцев назад

15 комментариев 0 участников здесь

Не могу редактировать из-за проблем с сайтом, но хотел немедленно прокомментировать ошибку, иначе это вызовет путаницу. Текст

" т.е. от 50 Ом до 8 Ом, если волновое сопротивление пар проводов равно 50 Ом "

должен прочесть:

" т.е. от 50 Ом до 8 Ом, если волновое сопротивление пар проводов равно **20** Ом "



[шабаз](#) 8 месяцев назад в ответ на [шабаз](#)

Невозможно отредактировать комментарий, но строка блога теперь отредактирована для правильного чтения.



[ДАБ](#) 8 месяцев назад

Хороший пост.

Сложности RF могут быть очень интересными.

Мы исследовали воздействие фотонов на два объекта с заряженной массой внутри и были поражены последствиями.



[шабаз](#) 8 месяцев назад

(блог обновлен диаграммой для различных характеристических импедансов)

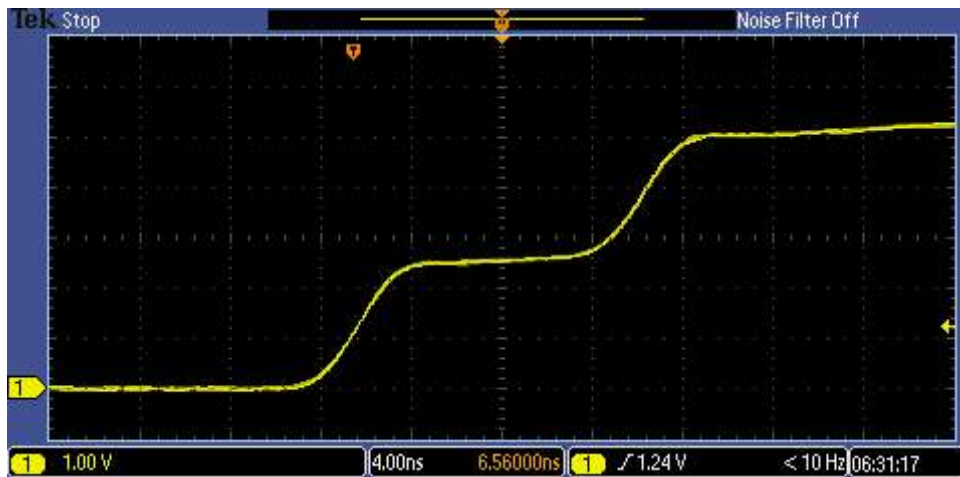


[jc2048](#) 8 месяцев назад

Интересный блог. Я не знал историческую сторону WRT Guanella. Я сталкивался с ними (теория - без практического опыта) как с «трансформаторами линии электропередачи».



Довольно легко увидеть волновое сопротивление линии, если у вас есть осциллограф, генератор импульсов и длина линии передачи. Здесь я использую Arduino в качестве генератора импульсов (четыре параллельных выхода) с некоторым последовательным сопротивлением (4x180 Ом), чтобы довести выходное сопротивление драйверов выводов до 50 Ом, управляя RG58C длиной 1 м. Это форма волны в начале линии с открытым дальним концом, так что волна отражается от конца и возвращается к началу, а не поглощается нагрузкой.



Плато — это место, где волна распространяется вдоль линии передачи. В течение этого периода характеристическое сопротивление образует делитель потенциала с последовательным сопротивлением и дает уровень напряжения примерно в половину напряжения возбуждения от Arduino. Хотя он и не очень точен, он позволяет грубо измерить волновое сопротивление. Кроме того, измеряя время «туда-обратно», можно оценить скорость волны в линии (но точно измерьте длину вашей линии — этот кабель продается длиной 1 метр, но на самом деле он длиннее).

Теперь, когда у меня есть простая измерительная установка, я попробую использовать тонкую эмалированную медную проволоку. Мне также очень любопытно посмотреть, какое влияние оказывает феррит на свойства линии передачи (если таковые имеются).



[шабаз](#) 8 месяцев назад в ответ [jc2048](#)

Привет Джон,

Это четкий эксперимент! Приятно видеть, что это возможно с «прицелом». По-видимому, нахождение рядом с ферритом изменит характеристическое сопротивление витой пары на несколько Ом.

Как вы сказали, они также известны как трансформаторы линий передачи, а «система катушек» Гуанеллы является подмножеством. Позже стали популярными и другие конструкции ТЛТ (известные примеры принадлежат К.Л.Рутроффу).



[шабаз](#) 8 месяцев назад в ответ [jc2048](#)

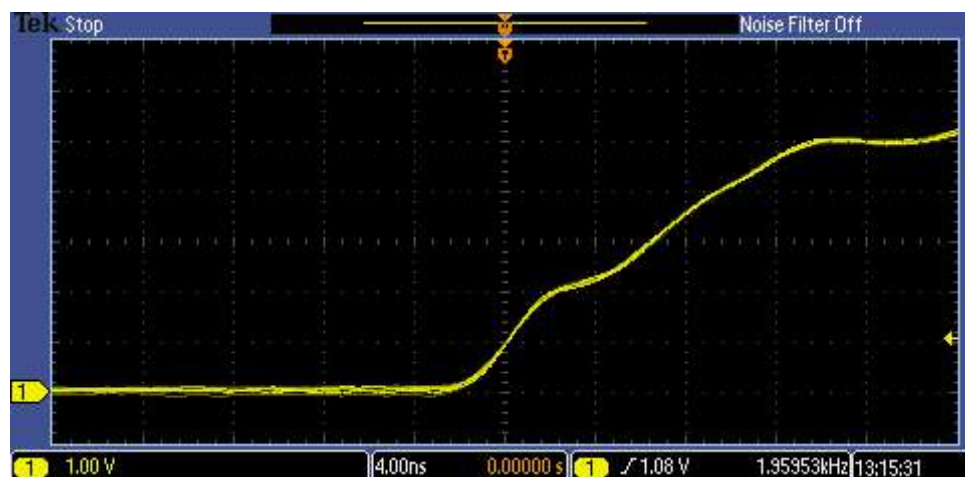
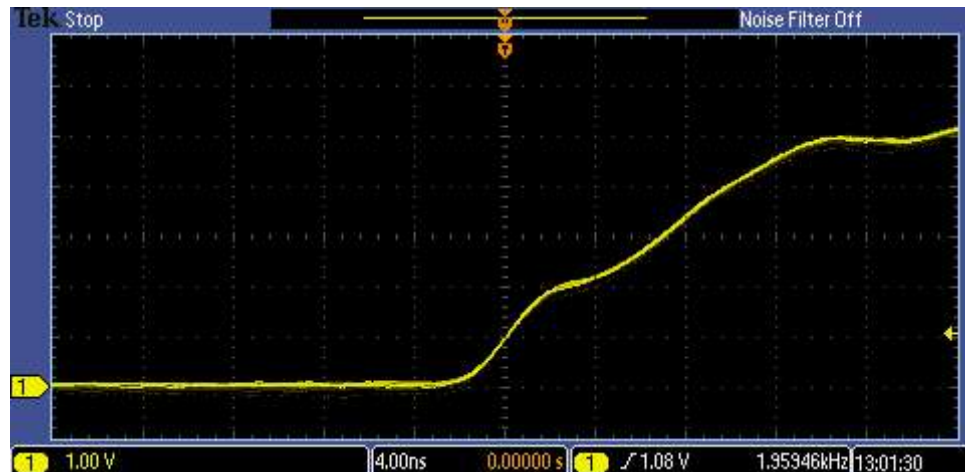
Кроме того, ваша трассировка доказывает, что ток течет немедленно и поддерживается, как пытался объяснить тот человек в видео :)

[jc2048](#) 7 месяцев назад в ответ [jc2048](#)



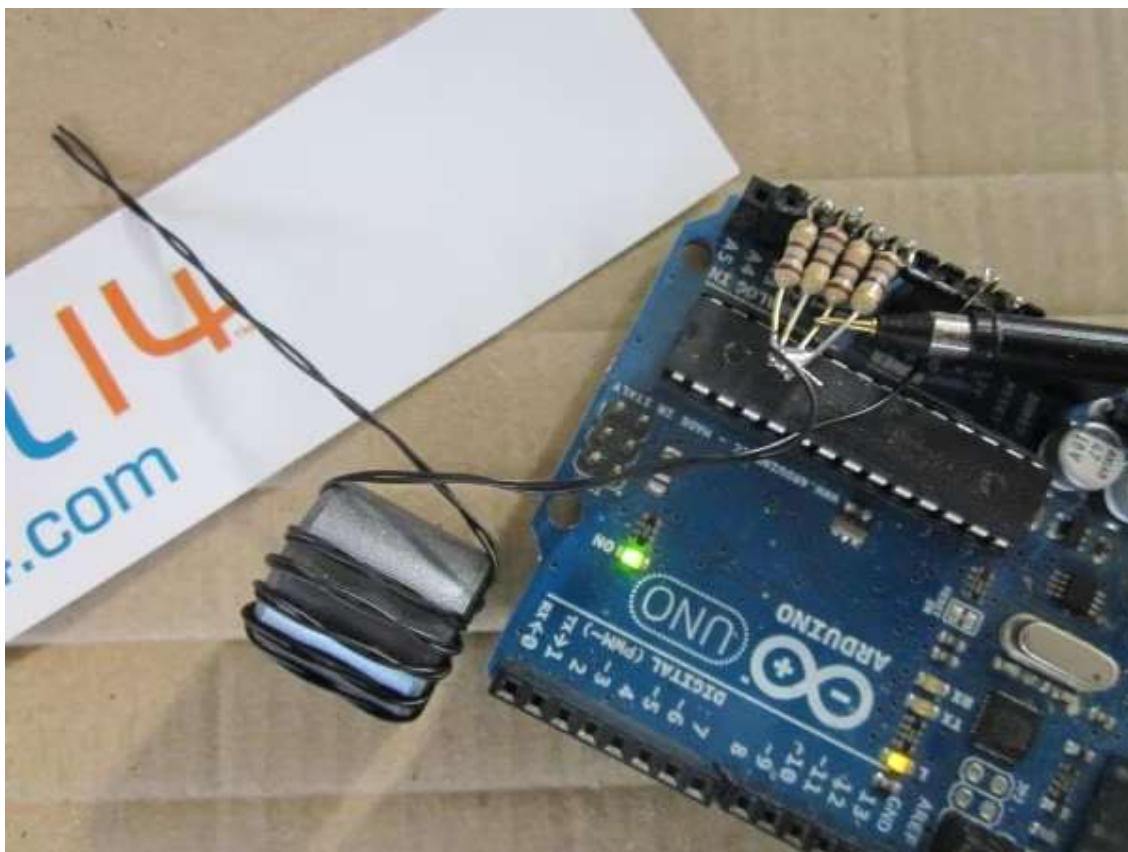
Это то, что я думаю, вероятно, проволоочная обмотка. Сердцевина составляет около 0,25 мм, и я скрутил длину около 80 см с 1 витком на см (примерно 2,5 на дюйм). Это будет отличаться от того, что вы видите с проводом с полиуретановым покрытием, потому что изоляция толще.

Первая дорожка представляет собой свободно свисающую в воздухе витую проволоку, вторая намотана на ферритовый сердечник Laird EMC (код производителя 28B0629-000).



Между ними очень мало. Первый предполагает что-то около 36 Ом для характеристического сопротивления, второй предполагает, что сердечник повышает его, может быть, на 2 или 3 Ом. Провод с накруткой быстрее, чем коаксиальный (даже принимая во внимание, что он составляет всего две трети длины), что досадно, потому что он дает очень короткое плато (для разумной длины линии), но разница между проводом незначительна. -обмотка на свободном воздухе и вокруг феррита, что меня удивляет - я думал, что феррит будет влиять на линию гораздо больше, чем это.

Вот эксперимент на стенде. На самом деле это не тот способ, которым вы должны зондировать - это почти что вызов несчастного случая - но это избавляет от попыток сделать «пружинящие вещи», чтобы зонд мог защелкнуться.



Вместо того, чтобы пытаться намотать провод до 50 Ом, я собираюсь посмотреть, смогу ли я найти тонкий провод с полиуретановым покрытием, который я использовал с монтажной ручкой, и поэкспериментировать с ним.



шабаз 7 месяцев назад в ответ [jc2048](#)

Привет Джон,

Это здорово видеть реальные результаты! Увеличение на 2-3 Ом возле феррита звучит хорошо, оно должно быть примерно таким. Точно так же расположение витков витой пары рядом друг с другом не оказывает большого влияния.

Однако я ожидал, что характеристическое сопротивление будет выше с более толстой изоляцией, даже если это какой-то другой изолятор. Может провод толще?

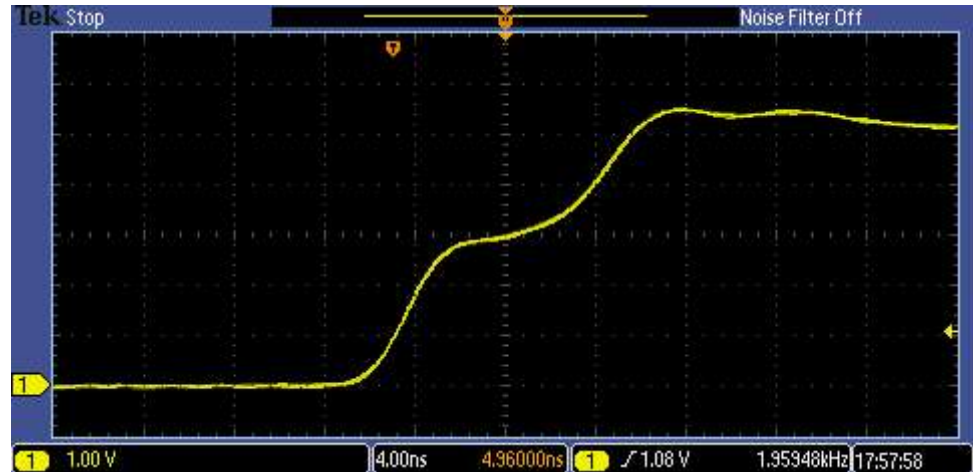


jc2048 7 месяцев назад в ответ на [шабаз](#)

Он измеряется в районе 0,2 - 0,25 мм с помощью штангенциркуля. Трудно быть абсолютно точным, потому что кажется, что мягкая проволока немного деформируется, если вы прикладываете слишком большое давление. Вероятно, это был настоящий витой провод с тефлоновым покрытием и, возможно, посеребренным проводником. Я могу понять, почему вы скептически относитесь к

этому результату: до того, как я сделал тест, я думал, что он будет намного выше.

Это то, что я вижу для медного провода с полиуретановым покрытием 38 SWG. Это около метра с примерно 2 поворотами на дюйм. 38 SWG указан как диаметр 0,152 мм. (Он измеряет 0,15 мм с помощью штангенциркуля, поэтому похоже, что этикетка с надписью «SWG38» является точной.)



Это дает около 75 Ом.

I've almost certainly got some video coax somewhere here, so if I dig that out, it could give me a comparison as a 'sanity check'. I think I'll do that in the morning as it will prove whether the basic idea of the test is valid or not.



[shabaz](#) 7 месяцев назад in reply to [jc2048](#)

Hi Jon,

The 38 SWG result sounds spot on. I calculate about 77 ohms with 2 turns per inch using my rough calculator (which I can't guarantee is error-free).

I've attached the Excel file to the blog post, if you wish to experiment with it.

1									
2									
3	Green values are input values								
4	Orange are auto-calculated								
5	Final Result								
6									
7	1	Set to 1 for mm, Set to 0 for inches							
8	0.1524	Conductor thickness (inches or mm)							
9	0.2032	Total thickness (inches or mm)							
10	0.006	inch	Conductor thickness						
11	0.008	inch	Total thickness including insulation						
12	95.44386	ohms	Parallel conductor in air characteristic impedance						
13									
14	3	degrees	Pitch angle (adjust to see the twists per inch [tpi] value change below)						
15	1		Set to 1 for hard insulator, or 0 for soft insulator						
16	0		NOT of insulator value						
17	0.2536		beta						
18									
19	3.1		Dielectric constant of the insulator						
20	1.53256		ereq value						
21	77.1	ohms	Characteristic impedance of the twisted pair						
22	78.6	ohms	Characteristic impedance of the twisted pair near ferrite						
23	2.1	tpi	Twists per inch						
24									
25	Note: Ideally have pitch angle between 20-45 degrees, although not essential								



jc2048 7 месяцев назад in reply to [shabaz](#)

The odd result with the wire-wrap wire was down to me not doing the probing very well. If the ground ring of the probe is very close to the ground side of the line, but doesn't touch, there's enough capacitance between them to still get a moderately sensible looking trace. I've tried again and now get this. This suggests something in the area of 140-150 Ohms.



That's now in fairly close agreement with your spreadsheet calculator.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3	Green values are input values							
4	Orange are auto-calculated							
5	Final Result							
6								
7	1	Set to 1 for mm, Set to 0 for inches						
8	0.25	Conductor thickness (inches or mm)						
9	0.5	Total thickness (inches or mm)						
10	0.0098425	inch	Conductor thickness					
11	0.019685	inch	Total thickness including insulation					
12	158.03495	ohms	Parallel conductor in air characteristic impedance					
13								
14	7	degrees	Pitch angle (adjust to see the twists per inch [tpi] value cha					
15	1		Set to 1 for hard insulator, or 0 for soft insulator					
16	0		NOT of insulator value					
17	0.2696		beta					
18								
19	2.1		Dielectric constant of the insulator					
20	1.29656		ereq value					
21	138.8	ohms	Characteristic impedance of the twisted pair					
22	140.3	ohms	Characteristic impedance of the twisted pair near ferrite					
23	2.0	tpi	Twists per inch					
24								
25	Note: Ideally have pitch angle between 20-45 degrees, although not essential							
26								

What does the 'hard insulator'/'soft insulator' choice mean?



[shabaz](#) 7 месяцев назад in reply to [jc2048](#)

Hi Jon,

That's awesome, the measurements are looking good!

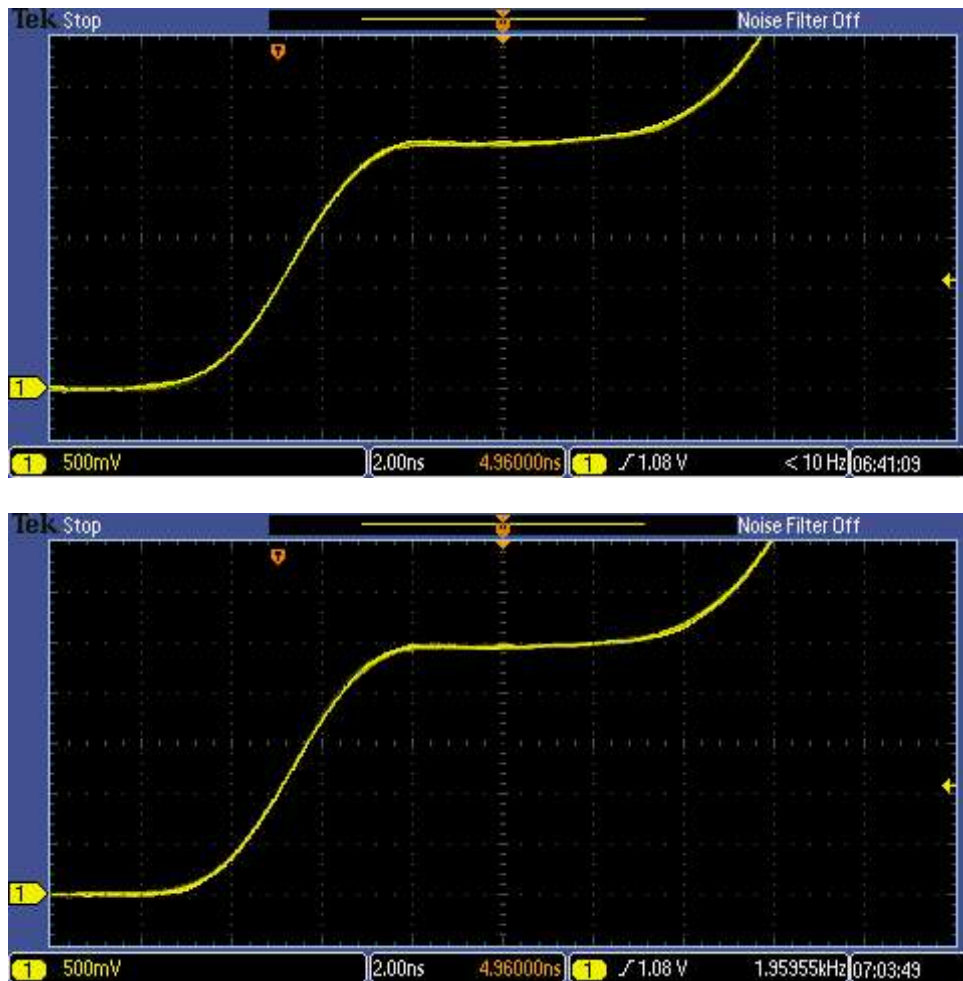
I've not seen a proper definition for hard versus soft insulator, so I've taken it to literally mean if the insulator feels soft (like PVC) or not, i.e. I always leave it set to hard for enamelled wire and Kynar/Teflon, which are usually the wires that might be used, for most twisted pairs.



[jc2048](#) 7 месяцев назад in reply to [jc2048](#)

I've found some 32 SWG (0.2743mm) which seems ideal for 50 Ohms. First trace is 1m, with 2 twists per cm, in free air. It's very close to matching what I

saw with the 50 Ohm coax. Second trace is wrapped around the same ferrite core as before and it hardly changes - as you say, maybe an Ohm or two.



That's quite usable, so I'll have a go at an actual transformer on the ferrite next.



[jc2048](#) 7 месяцев назад in reply to [jc2048](#)

Follow-up blog:

[Experimenting with a Transmission-Line Transformer](#)