

Идея такой антенны и расчетные формулы описаны на странице [Bavarian Contest Club`а](#) Peter`ом Pfann`ом, DL2NBU в его большой статье *Die Zweidraht Beverage Antenne Aufbau und Betriebserfahrungen*. На немецком языке и с такой же обстоятельностью там приведено много страниц подробнейших (и не всегда нужных) сведений. А вот физика работы антенны, напротив там изложена очень скромно. Приводимая ниже статья и есть моя попытка разобраться в том, как же эта антенна работает.

Двунаправленная антенна Бевереджа

Приемная антенна Бевереджа известна всем, серьезным охотникам за DX на низких частотах. Принцип её работы основан на замедлении распространяющейся у поверхности земли волны и передачи её энергии в расположенную низко над землей вдоль направления движения волны, длинную проволоку. Коэффициент замедления волны зависит от высоты антенны, частоты и свойств земли.

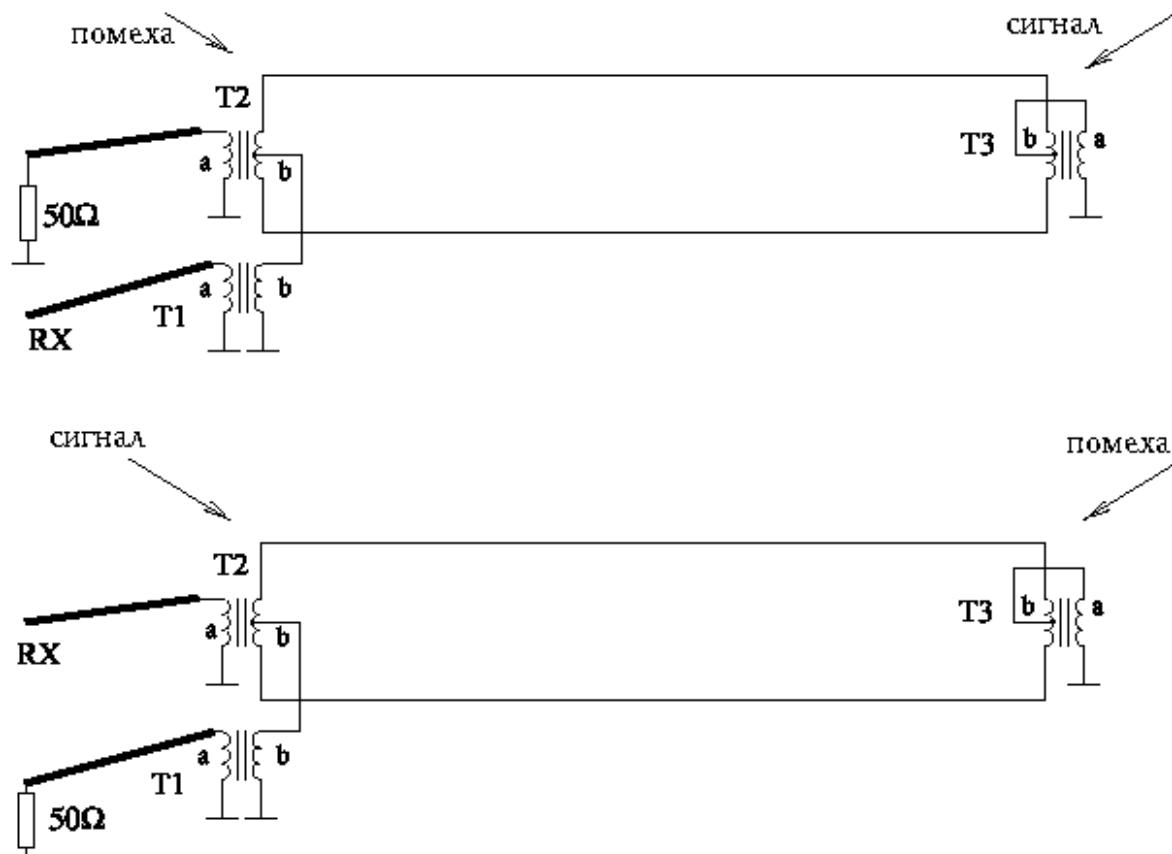
Главный недостаток АБ – большая длина. Сотни метров. А при работе в эфире принимать желательно со всех направлений. И по нерушимому закону подлости DX обычно оказывается не там куда смотрит фиксированная направленная антенна.

Очевидное решение: разместить несколько антенн Бевереджа радиально из общего центра, хорошо всем, кроме его реального воплощения: требуется относительно свободное место вокруг вашего QTH с радиусом в несколько сот метров. Если же такого пространства у вас нет, то возникает желание одну антенну Бевереджа использовать в двух разных направлениях. В теории это кажется несложным: достаточно взаимно переключить точки подключения трансформатора питания и нагрузку.

Но на практике обнаруживаются неприятные нюансы, на корню зарезающие эту идею. Требуется коаксиальный кабель с длиной равной длине антенны (в каком бы месте относительно антенны не располагалась станция). А сколько стоит сотня другая третья метров коаксиального кабеля? Вот то-то и оно, позолоченная антенна выходит...

Но оказывается можно сделать переключаемую в двух направлениях антенну Бевереджа, использовав вместо обычного одиночного провода воздушную двухпроводную линию низко расположенную над землей. Линия расположена горизонтально, провода линии параллельны земле. Конечно, надо вдвое больше провода, но согласитесь, 300 м обычного провода, это значительно дешевле 300м коаксиального кабеля.

Антenna выполняется как показано на рисунке. Смысл конструкции в том, что удается и нагрузку и точку питания антенны разместить не с разных, а с одной стороны антенны. Что в свою очередь исключает вышеупомянутые проблемы и резко упрощает и удешевляет коммутацию.



Как работает антенна?

По двухпроводной линии, низко расположенной вдоль земли могут распространяться два разных сигнала.

Первый – дифференциальный, когда сигналы на проводах линии равны по амплитуде и противофазны (напряжение есть только между проводами линии, а относительно земли линия при этом имеет нулевой

потенциал, поскольку токи в её проводах противофазны, и относительно земли компенсируют друг друга).

Второй – синфазный, когда сигналы на обеих ее проводах равны по амплитуде и синфазны (при этом наоборот, между проводами линии нет напряжения, а относительно земли оба провода имеют ненулевой и одинаковый потенциал). По сути дела, во втором случае оба провода линии относительно земли можно рассматривать как один "толстый", состоящий из двух параллельно включенных проводов (поскольку токи в них одинаковы и по напряжению и по фазе).

Стоит отметить, что внешняя электромагнитная волна может навести в линии только синфазные сигналы, и не может дифференциальные.

Введем три сопротивления:

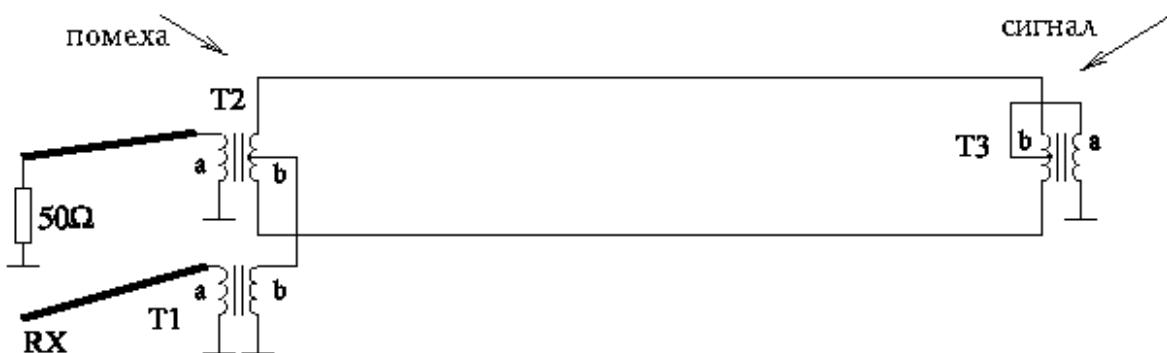
Z_{bev} - это волновое сопротивление антенны Бевереджа. То есть волновое сопротивление "толстого" состоящего из двух параллельных проводов антенного провода относительно земли для синфазного сигнала.

Z_{TL} - это волновое сопротивление между двумя проводами линии, для дифференциального сигнала, то есть просто волновое сопротивление двухпроводной линии.

Z_{koax} – волновое сопротивление используемого коаксиального кабеля.

Наш дальнейший анализ будет состоять в том, чтобы свести антенну, к привычной антенне Бевереджа. Делать мы это будем в два этапа – первый показать, что для синфазного сигнала антенна "видит" резистор нагрузки со стороны принимаемого сигнала, второй – что она "видит" линию питания (тоже для синфазного сигнала) со стороны помехи (т.е. заднего направления).

Итак обратимся снова к верхней половине рисунка.



- Принимаемый сигнал с правой стороны одновременно распространяется по двум проводам линии как синфазный относительно земли, не вызывая дифференциального сигнала между проводами линии. Дойдя до концов обмотки **b** T2 он беспрепятственно проходит на её средний вывод, и далее на T1, который понижает Z_{bev} до Z_{koax} , и передает принятый сигнал в кабель.

Поскольку токи принимаемого сигнала в половинах обмотки **b** T2 текут навстречу друг другу, то на первичной обмотке **a** T2 этот сигнал не выделяется, и в резистор нагрузки 50 Ом не попадает. То есть принимаемый сигнал, пройдя по обеим проволокам антенны, попадает в кабель, а в резистор нагрузки нет.

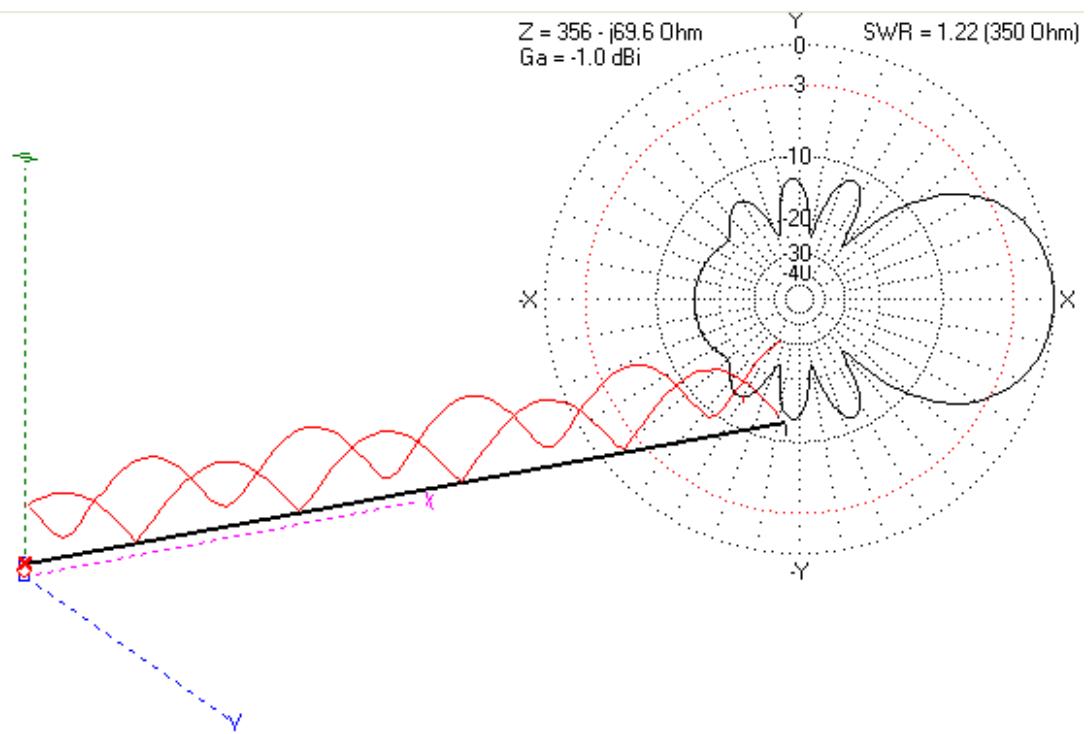
- Сигнал помехи идет как синфазный по обеим проводам антенны и выделяется на средней точке обмотки **b** T3.

Посмотрим, каким образом в этой точке оказывается эквивалент резистора нагрузки. 50-ти омный поглощающий резистор повышается T2 до согласованной дифференциальной нагрузки двухпроводной линии Z_{TL} .

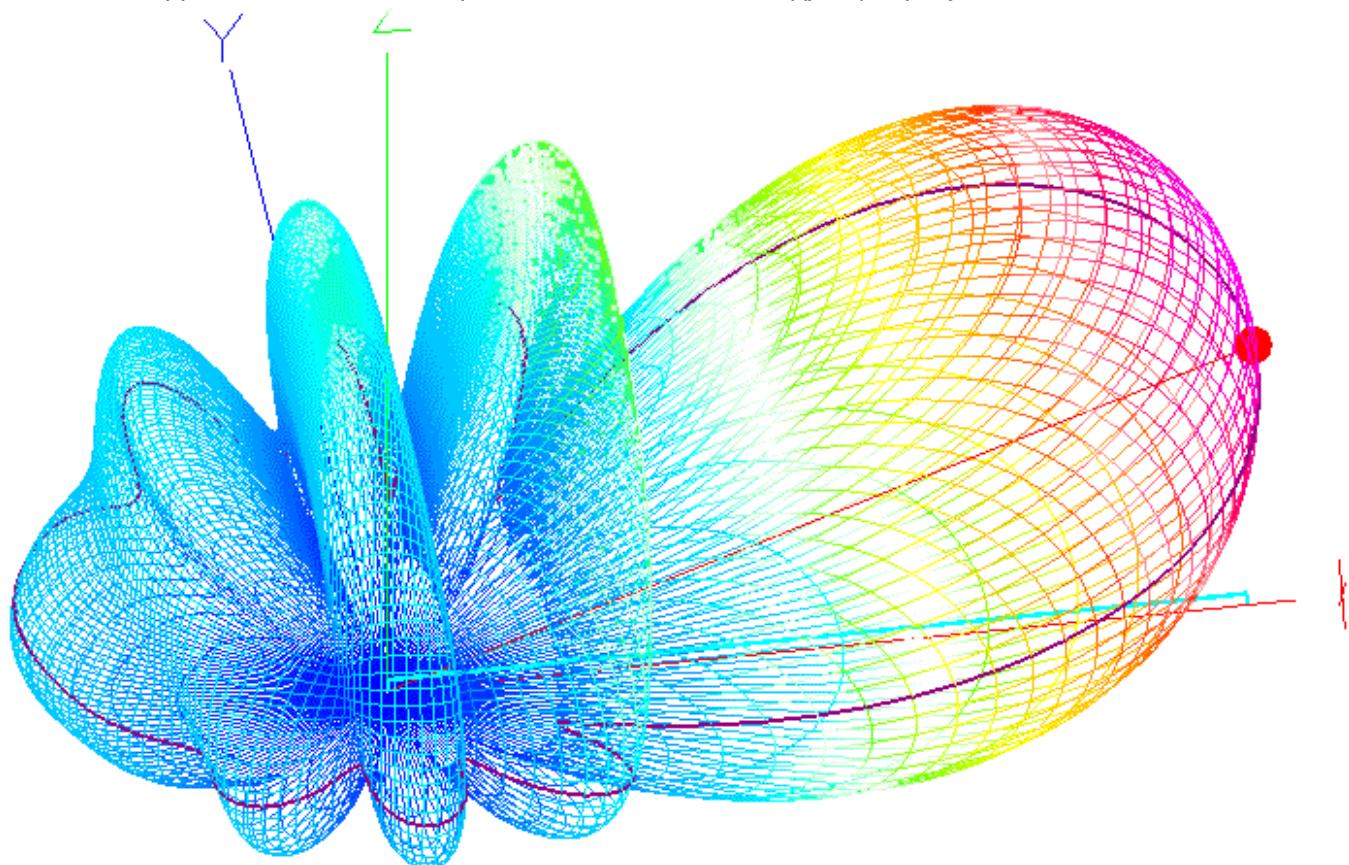
Это эквивалентно тому, что с левой стороны между проводами линии включен резистор, с сопротивлением, равным ее волновому Z_{TL} . Поскольку линия согласована, то она без изменений переносит это сопротивление на свой другой конец – то есть на между концами обмотки **b** T3. Поскольку это дифференциальный сигнал, то T3 работает, трансформируя сопротивление Z_{TL} на обмотке **b** в сопротивление Z_{bev} на обмотке **a**. А эта обмотка (имеющая эквивалентное сопротивление Z_{bev} как мы только что выяснили) как раз и подключена к средней точке обмотки **b** T3. Что и соответствует (см. первое предложение этого пункта) нагрузке с правой стороны антенны.

То есть в среднюю точку обмотки **b** T3 оказывается включена виртуальная нагрузка с сопротивлением Z_{bev} , которая невзирая на свою виртуальность вполне реально поглотит синфазный сигнал сигнал помехи.

[Файл модели](#) (антенна включена в прямом направлении) подтверждает сказанное (для просмотра и вычисления этого файла достаточно демо-версии [GAL-ANA](#)).



Объемная ДН антенны в этом направлении показана на следующем рисунке.

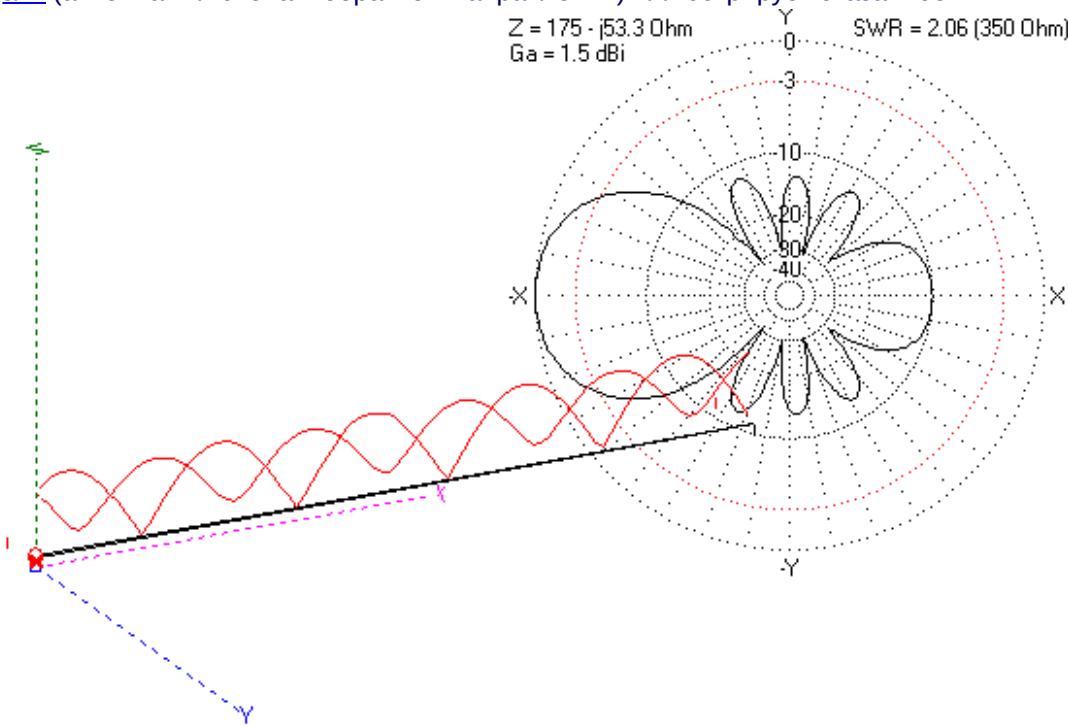


Теперь переключим направление антенны на обратное и еще раз посмотрим на нижнюю половину первого рисунка.



- Принимаемый сигнал (теперь слева) придет как синфазный на концы обмоток **T3**. Поскольку он синфазен в обоих проводах, то токи в половине обмоток **b** направлены в разные стороны, и в обмотке **a** **T3** не выделяются. Но зато они будут на среднем выводе обмоток **b**, и к обмотке **a** приложатся непосредственно (а не за счёт трансформации в **T3**). Этот сигнал трансформируется **T3** с обмотки **a** в обмотку **b** уже как ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ и пойдет МЕЖДУ проводами линии как по обычной двухпроводной линии. Дойдя до противоположного (левого) конца линии он попадает на концы обмоток **b** **T2** и (поскольку он дифференциальный) трансформируется им в обмотку **a**, то есть на вход приёмника. Получается, в данном случае, что вход приемника виртуально расположен в средней точке обмоток **b** **T3**, т.e. с правой стороны антенны.
- Сигнал помехи (в данном случае с правой стороны) выделяется как синфазный на обоих проводах, доходит до концов обмоток **b** **T2**, будучи синфазным не попадает в приемник (т.e. обмотку **a** **T2**), а выделившись на средней точке обмоток **b** **T2** попадает на обмотку **b** **T1**, понижается им и благополучно “проглатывается” нагрузочным 50-ти омным резистором.

Файл модели (антенна включена в обратном направлении) иллюстрирует сказанное.



При работе антенны этом (т.e. обратном) направлении полезный сигнал перед тем как попасть в приемник проходит дифференциально по всей длине двухпроводной линии. Поэтому уровень полезного сигнала оказывается меньше на величину затухания в этой линии. И, соответственно, на эту же величину снижается F/B антенны, т.к. остатки помехи проходят в приемник без затухания в длинной линии антенны.

Это не имеет особого значения, если антенна выполнена как воздушная высокоомная линия (в такой линии даже при ее длине в несколько сотен метров на частотах ниже 7 МГц затухание не превысит нескольких дБ).

Но если выполнить антенну из относительно низкоомной линии в пластике и из тонкого провода, то ее затухание (а, значит, и снижение F/B в обратном направлении) будет значительным. Например, при изготовлении антенны из полевого телефонного провода при ее длине 200 м снижение F/B в обратном направлении составляет от 6...8 дБ на 1,8 МГц до 12...15 дБ на 7 МГц.

Для правильной работы антенны, как следует из вышеизложенного, важно правильно знать все сопротивления. Они рассчитываются по следующим формулам:

$$Z_{BEV} = 69 \cdot \log_{10} \left[\frac{4h}{d} \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{S} \right)^2} \right]$$

$$Z_{TL} = 276 \cdot \log_{10} \left(\frac{2S}{d} \right)$$

где:

h - высота двухпроводной линии-антенны над землей,

d – диаметр проводов

S – расстояние между проводами.

Например, для $h=1,8\text{м}$, $d=1,8\text{ мм}$ и $S=60\text{ мм}$ получим, что $Z_{bev}=371\text{ ом}$, а $Z_{TL}=503\text{ Ома}$.

Также очень важно установить правильные коэффициенты трансформации у Т1...Т3.

Отношение числа витков в обмотках Т1:

$$\frac{Nb}{Na} = \sqrt{\frac{Z_{BEV}}{Z_{KOAX}}}$$

Отношение числа витков в обмотках Т2:

$$\frac{Nb}{Na} = \sqrt{\frac{Z_{TL}}{Z_{KOAX}}}$$

Отношение числа витков в обмотках Т3:

$$\frac{Nb}{Na} = \sqrt{\frac{Z_{TL}}{Z_{BEV}}}$$

Трансформаторы намотаны на ферритовых кольцах, или трубках и рассчитываются по обычной методике. Надо обратить особое внимание на симметрию половин обмоток **b** у Т2 и Т3. Применяемые сердечники должны иметь верхнюю рабочую частоту (см. паспорт сердечника) не ниже частоты принимаемого сигнала (т.е. ферриты СНГ типа 2000НН, 600НН, 400НН – **совершенно непригодны**) и при этом иметь максимально возможную магнитную проницаемость.

Для работы от 7 МГц и ниже хорошо подходят ферриты фирмы Amidon серий FT и FB с проницаемостью 2000 – их верхняя рабочая частота составляет 8 МГц.

Самые критичные Т2 и Т3 перед установкой неплохо бы проверить. Для этого непосредственно (без антенны) соединив обмотки **b** этих трансформаторов, нагрузить обмотку **a** Т3 на резистор с сопротивлением Z_{bev} , следует измерить КСВ в 50-ти омном тракте со стороны обмотки **a** Т2. В рабочей полосе частот КСВ должен быть не более 1,2.

Уделите качеству изготовления трансформаторов и их проверке много внимания: почти всегда проблемы в работе такой антенны связаны именно с ошибочным или некачественным изготовлением трансформаторов.

Заземлённый вывод обмотки **a** Т3 в дальней от шэка точке антенны соединяется с землёй, точно также, как в обычной антенне Бевереджа соединяется с землёй резистор нагрузки.

[На главную - Main page](#)