

Бернд Мелис , DL3JMM

(Любительская) работа радио на частотах ниже 8300 Гц

- Общий
- Юридическая информация
- Технологическая прием/программное обеспечение/антенны
- Технологическая TX/программное обеспечение/антенны
- Типы вещания
- Г раббер

1. Генеральный

Диапазон частот ниже 8300 Гц предлагает захватывающие возможности радиосвязи, которые ранее были доступны лишь немногим любителям. Преодоление проблем, которые первоначально считались неразрешимыми, передает «чувство Маркони» первых дней на радио. Между тем связь между Европой и Азией, а также между Европой и Северной Америкой осуществлялись дилетантами.

- SNR/Распространение/Частота/Фазовая стабильность

Работа на этих низких частотах осложняется более высоким фоновым шумом, помехами от глобальных гроз, антропогенными помехами и крайне низкой эффективностью передающих антенн.

Распространение волн происходит за счет земных волн по кривизне Земли и за счет отражений от слоя D ионосферы, занимающего разные высоты в зависимости от времени суток. (ок. 65 км днем – 90 км ночью)

Затухание относительно невелико, обычно ниже ночью, но ночью наблюдаются более сильные атмосферные возмущения.

Из-за упомянутых выше проблем необходимо использовать специальные методы, чтобы сделать сигналы читаемыми. По сути, это осуществляется посредством временной интеграции с максимально возможным сужением полосы пропускания. Вот почему возможны только очень маленькие скорости передачи данных, и для экспериментов вам понадобится много терпения. По этой причине крайне важно сохранять частоту и даже фазу абсолютно постоянными при отправке и приеме сигналов. Теперь это возможно благодаря GPS и обычно достигается путем оценки сигналов времени GPS и часов 1PPS.

2. Юридическая информация

- Распределения по конкретным странам
- Как правило, не требуется никакого регулирования /одобрения (лицензии)
- Любой может отправить

В большинстве стран работа радио ниже 8,3 МГц не регулируется, как в Германии; частоты можно использовать без разрешения, пока сильные гармоники не мешают более высоким частотам. Это означает, что любой может передавать данные на этих частотах. Навряд ли случится вам следовать с начала узнать о соответствующих правилах в вашей стране.

3. Приемная техника/программное обеспечение/антенны

Как правило, система приема этих частот состоит из одной или нескольких антенн, необходимых усилителей/преобразователей импеданса, компьютера с звуковой картой и соответствующих оценочных программ.

3.1 Устройства, компьютеры

- Звуковые карты

Если используется только одна антенна, для первоначальных попыток достаточна стерео (2-канальная) звуковая карта. Если вы хотите добиться возможного кардиоидного формирования с помощью дополнительных антенн посредством программного расчета, чтобы заблокировать помехи за счет направленного эффекта, или если вы хотите добиться зависимости от направления (цветного) отображения сигналов в каждой диаграмме, Рекомендуется иметь 4-х канальную звуковую карту.

Чтобы оценить сообщения, передача которых часто занимает несколько часов (например, EbNaut), аудиопотоки должны быть записаны на жесткий диск.

По этой причине интерфейс звуковой карты должен гарантировать отсутствие прерываний потока, вызванных другими программами или действиями в операционной системе компьютера.

Звуковые карты должны иметь хорошее соотношение сигнал/шум и обеспечивать разрешение не менее 16 бит при частоте дискретизации 48 кГц.

- ПК с ОС Windows

С помощью ПК с Windows (обычно ноутбука) вы можете принимать сигналы этих частот через подходящую звуковую карту, отображать их в виде каждой диаграммы и после фильтрации, шумоподавления и сжатия данных записывать их на жесткий диск. Файлы WAV можно создавать для оценки или декодирования после истечения времени трансляции. Если для приема используется ПК с ОС Linux, его аудиопотоки можно передать в оценочное программное обеспечение Windows с использованием кодирования «vorbis» и, например, отобразить в виде водопада.

- ПК с Linux (Raspberry Pi)

Продвинутые системы приема можно реализовать на ПК с ОС Linux; обычно для этого используется Raspberry Pi, а благодаря «vlfrc-tools» Пола Николсона (G8LMD) доступны очень хорошие и сложные программные компоненты.

- GPS-стабилизация

Как уже упоминалось во введении, глобальная синхронизация сигналов и приемников/передатчиков абсолютно необходима для стабилизации частоты и фазы. Модуль GPS (обычно от ublox) выдает точное время и сигнал с импульсом в секунду (1PPS), нарастающий фронт которого отмечает точное начало секунды.

Он должен достигать канала звуковой карты через аудиовход, чтобы сигналы антенны и опорный сигнал имели одинаковую задержку. Обратите внимание на информацию о формировании сигналов прикладных программ.

Чтобы программное обеспечение могло назначить пульсу правильную секунду, время на компьютере должно отклоняться менее чем на полсекунды. Для постоянной настройки часов с игнорированием NMEA от GPS можно считывать через последовательный интерфейс или интерфейс USB. Альтернативно время можно получить из Интернета с помощью NTP или из DCF77. Время всегда измеряется в формате UTC.

3.2 Программное обеспечение для приема

- Программное обеспечение для Windows

Для большинства приложений используется программа «Spectrum Lab» Вольфганга Бюшера (DL4YHF), имеющая множество функций.

Программы: <https://www.qsl.net/dl4yh/>

Описание: <https://www.qsl.net/dl4yh/speciab/index.htm>

- Программное обеспечение для Linux

Здесь используются отличные инструменты Пола Николсона (G8LMD):

Программы и описание: <http://abelian.org/vlfrx-tools/>

- Соединение/передача между компьютерами

Соединение может быть установлено между компьютерами (Linux => Linux), (Linux => Windows) через WLAN или LAN (Ethernet) для передачи цифровых аудиопотоков.

Кроме того, в общеночное программное обеспечение можно перенести прямые аудиопотоки с некоторых внешних приемных станций.

- Linux => Linux: с помощью инструмента [vtcat](#) -

Linux => Windows: с помощью инструмента [vtvorbis](#) -

Внешние станции: <http://abelian.org/vlf/index.php?page=access>

3.3 Приемные антенны

- Места приема/помех и

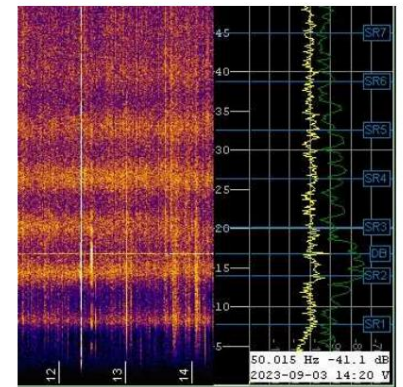
Из-за близости к проводящей земле на очень низких частотах обычно можно использовать только вертикальную составляющую электромагнитного поля и две горизонтальные составляющие H-поля.

К сожалению на этот диапазон частот особенно влияют помехи, вызванные деятельностью человека и установками. Все начинается с поставок электроэнергии, ее частоты 50/60 Гц и ее многочисленных и сильных гармоник, которые покрывают всю страну кабелями или воздушными линиями. Подключенные устройства, фотоэлектрические системы с инверторами, импульсные источники питания и т. д. создают огромный шум, особенно в городских условиях.

К сожалению сбои, вызванные грозой молнией, неизбежны. Из-за высокой энергии, излучаемой молнией, и низкого затухания на трассе, сигналы помех распространяются на большие расстояния. Повсеместные грозовые разряды также способствуют созданию резонансов Шумана, характеристическая спектрограмма которых подходит для проверки чувствительности приемной системы на очень низких частотах.

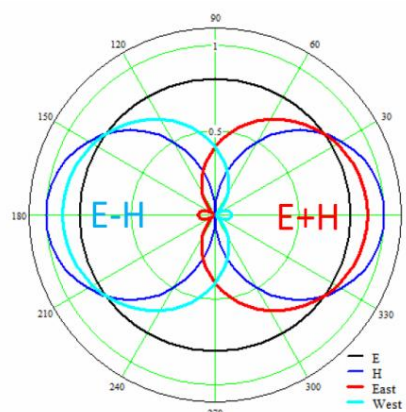
Только в месте с очень низким уровнем помех и с соответствующей чувствительной системой приема резонансы Шумана могут быть приняты с качеством, показанным на спектрограмме напротив.

По этой причине необходимо постараться выбрать расположение антенн как можно дальше от любых источников помех.



- Оптимизация /подавление помех посредством формирования кардиоиды

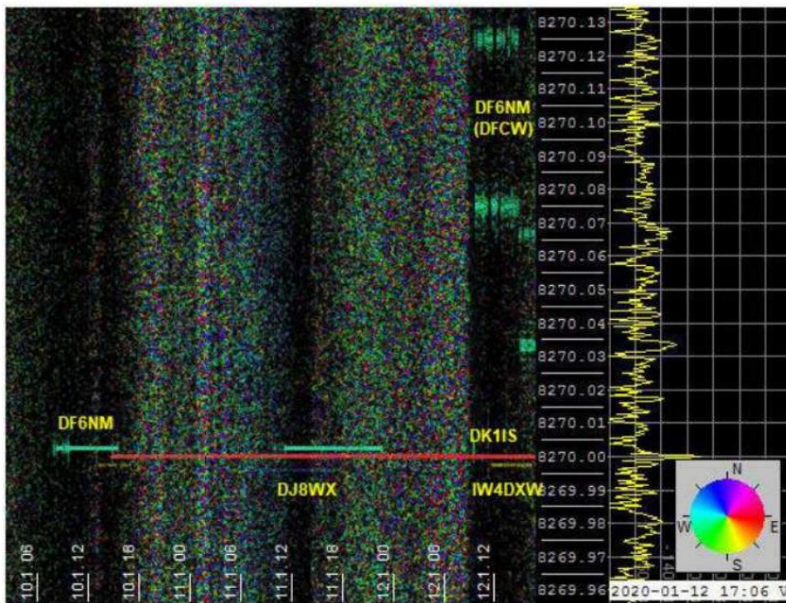
Если 2 антенны H-поля установлены ортогонально в направлении (В/З) + (С/Ю) и установлена антенна E-поля, сигналы можно добавлять векторно в программном обеспечении. Это позволяет сформировать кардиоиду, маскирующую задний QRN.



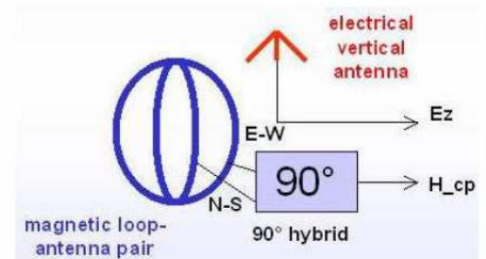
<http://abelian.org/vlfrx-tools/notes.html#Antenna%20synthesis>

На каждой диаграмме Spectrum Lab цвета различных сигналов в зависимости от направления могут обрабатываться с помощью этих трех антенн.

Антенны комбинированные для радиопеленгации (РДФ)



DF6NM (West), DJ8WX (Nord), DK1IS (Ost), IW4DXW (Süd)



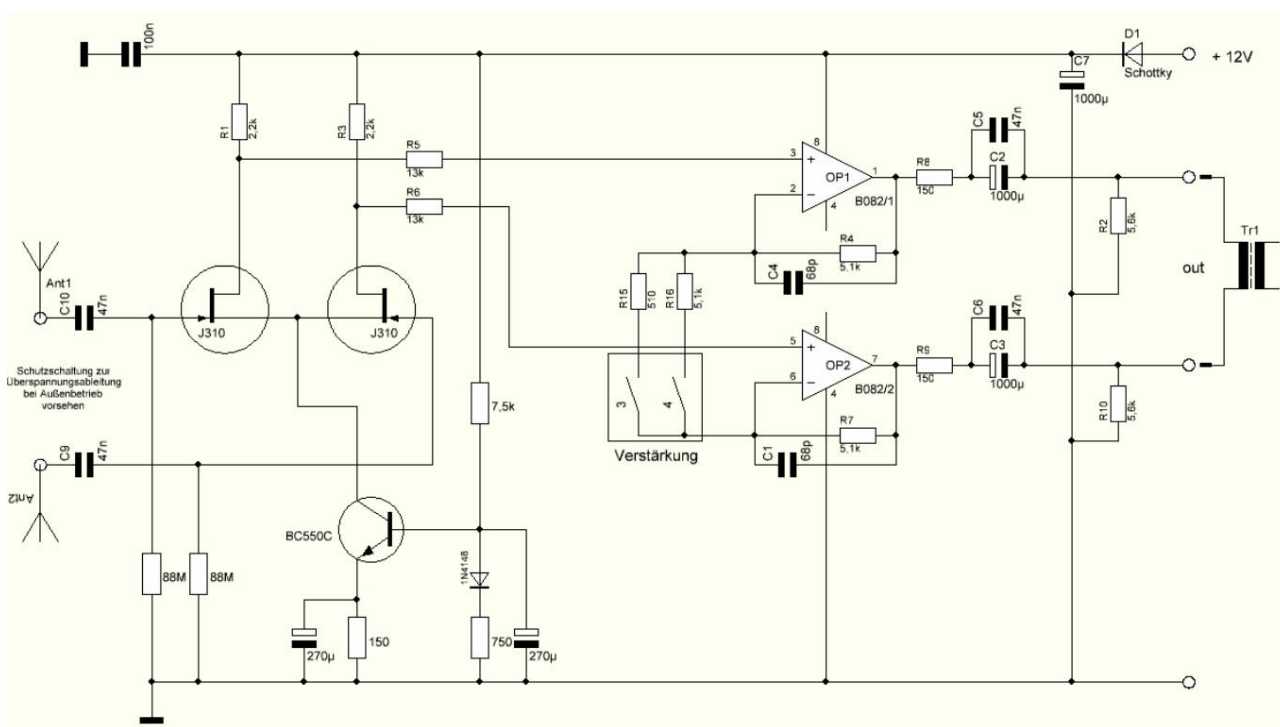
Farbpeiler von DF6NM:
Azimut => Phase => Farbe

90°-Kombination in Software

- Антенны электронного поля /преобразователи импеданса/усилители

Антенна электронного поля состоит из одного или двух емкостных приемных элементов и преобразователя импеданса на входе с очень высоким входным сопротивлением. За этим может последовать усилитель.

Сигнал от антенны должен быть максимально развязан от сигналов источника питания при его передаче на звуковую карту. По этой причине антенна часто питается солнечной энергией от батареи, а сигнал передается через изолирующие трансформаторы. В моем случае с сигнал передается по аналоговому оптоволоконному каналу.



Симметричный зонд электронного поля :

Две трубки длиной 1 м и диаметром 12 мм образуют два вертикальных плеча диполя. Вводы должны быть оборудованы схемами защиты от грозных разрядов.

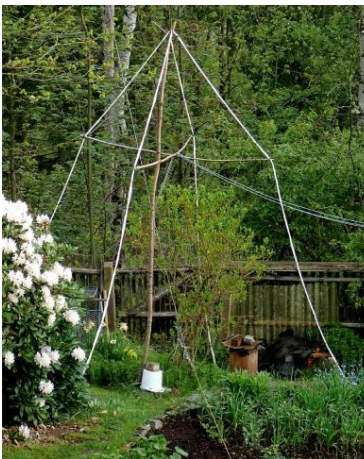
Хорошо известными формами зондов электронного поля являются Mini-Whip, Megawhip и т. д.

Важное замечание:

Антенны электронного поля следует устанавливать как можно более свободно! Высокие деревья или близлежащие дома могут существенно повлиять на прием.

- Антенны/усилители Н-поля

Антенна Н-поля всегда состоит из индуктивности, и могут использоваться самые разные формы: ферритовые антенны разных размеров, катушки, намотанные на металл МН длиной до более 1 м, маленькие и большие петли из нескольких витков провода, трубчатые петли. диаметром 2м, в качестве антенн Н-поля используются петли заземления и т.п.

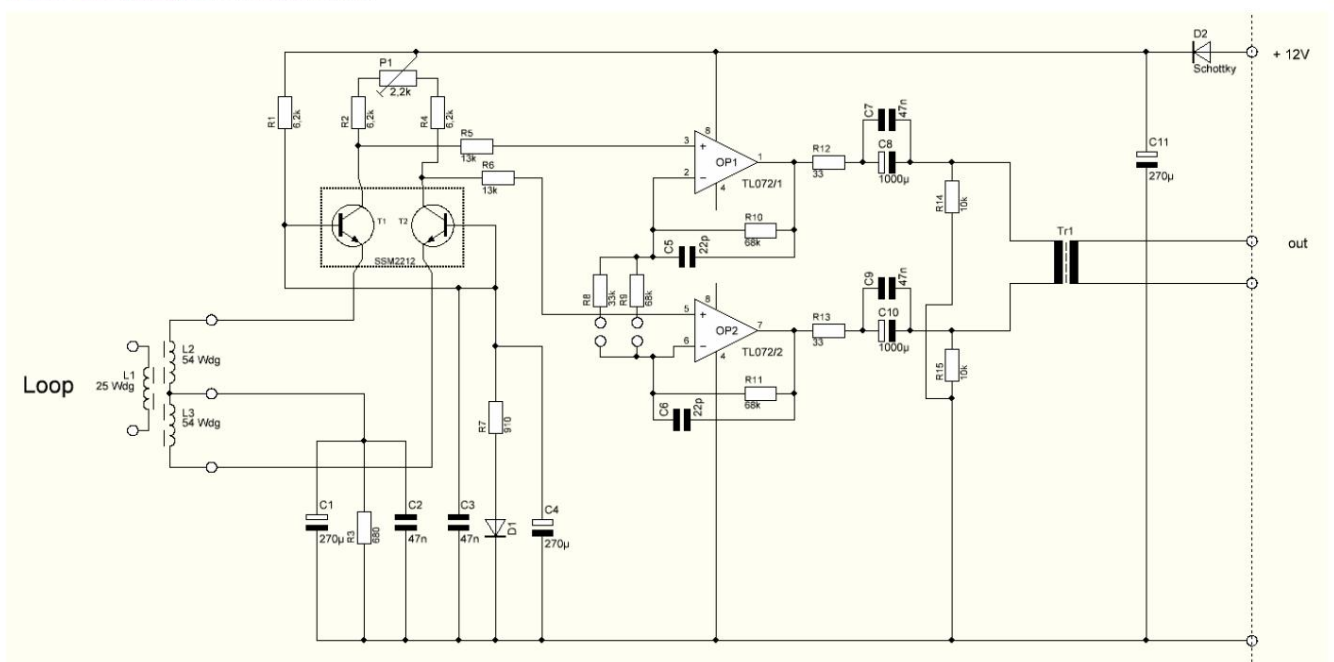


У меня удачной оказалась «петля-треугольник» с 8 витками провода сечением 2,5 мм². Длина ног 3х 4м.

Далее следует усилитель для компенсации потерь при передаче.

Здесь, в моем саду, в одном месте (на дереве) висят две ортогональные треугольные петли в направлениях С/Юи В/З.

Голень бежит по земле.



Усилитель для моего треугольного контура, описанный выше

Здесь также необходимо предусмотреть дополнительные схемы защиты от перенапряжений во время гроз. курица будет.

Различные предложения по антеннам Н-поля можно найти здесь:

<http://www.vlf.it/>

4. Тех ноло гия ве щния

Для передачи на частотах $< 8,3$ кГц усилители мощности звука адаптируются к соответствующим антеннам. Обычно это делается путем преобразования с помощью железа или, на более высоких частотах, с помощью ферритовых трансформаторов. У антенн Маркони регулировку резонанса необходимо осуществлять с помощью переменных катушек, которые из-за требуемого качества и малых потерь могут приобретать значительные габариты. В случае контуров заземления к контуру можно адаптировать простой трансформатор с конденсатором, включенным последовательно со вторичной обмоткой. Управляя чистым синусоидальным сигналом, можно уменьшить образование несанкционированных гармоник. Расстояние более 1000 км было преодолено на частоте 8270 Гц мощностью 5 Вт. Однако более высокая выходная мощность может быть полезна. Текущие мировые рекорды на частотах 8270 Гц и 5170 Гц были достигнуты при мощности 300 Вт.

<http://abelian.org/vlf/amateur-radio/>

4.1 Устройства, компьютеры

- Звуковые карты

Управление аудиоусилителем для целей вещания может осуществляться с помощью звуковых карт. В Windows программа «Спектр Лаборатория» предлагает варианты формирования сигналов для обеспечения различных видов передачи. Не забудьте сигнал PPS на аналоговом входе.

В Linux звуковая карта управляется программой «ebsynth» и выдает высококачественные синусоидальные сигналы для вещания несущей и EbNaut. Как в Windows, так и в Linux аналоговому входу должен быть назначен сигнал PPS, чтобы генерировать высококачественные сигналы с фазовой синхронизацией.

При отправке необходимо только звуковая карта с 2-мя аналоговыми входами. (стерео)

- ПК с ОС Windows

Здесь могут запускаться различные программы для управления различными видами передачи. Большинство людей используют «Spectrum Lab», который генерирует звуковые сигналы с помощью звуковой карты, или «ebnaut-tx.exe», который управляет переключением фаз, необходимым для EbNaut, через интерфейс RS232.

http://abelian.org/ebnaut/software_ms.shtml

- ПК с Linux (Raspberry Pi)

Существует полезная программа «ebsynth» для EbNaut и передачи немодулированной несущей, разработанная Полем Николсоном (G8LMD) и выдающая чистые синусоидальные сигналы на звуковую карту.

Также есть программа «ebNaut» от того же автора, генерирующая битовую последовательность, необходимую для EbNaut.

<http://abelian.org/ebnaut/ebsynth.shtml>

http://abelian.org/ebnaut/software_linux.shtml

- GPS-стабилизация

Как уже упоминалось о приеме сигнала, передаваемый сигнал также должен быть очень стабильным по частоте, а для EbNaut - также по фазе. Здесь также предлагается GPS-модули с импульсами PPS или генераторы GPSDO, хотя последние не могут гарантировать «абсолютную» фазу. Стабилизированная GPS частота либо подается на внешнюю схему модулятора, либо импульс PPS подается на аналоговый вход звуковой карты. Существуют также звуковые карты, частоту дискретизации которых можно стабилизировать с помощью «ловной синхронизации» с помощью GPSDO.

- Схема модулятора

Как уже говорилось, модуляцией различных типов передачи можно управлять через звуковую карту. Их частота дискретизации должна быть стабилизирована.

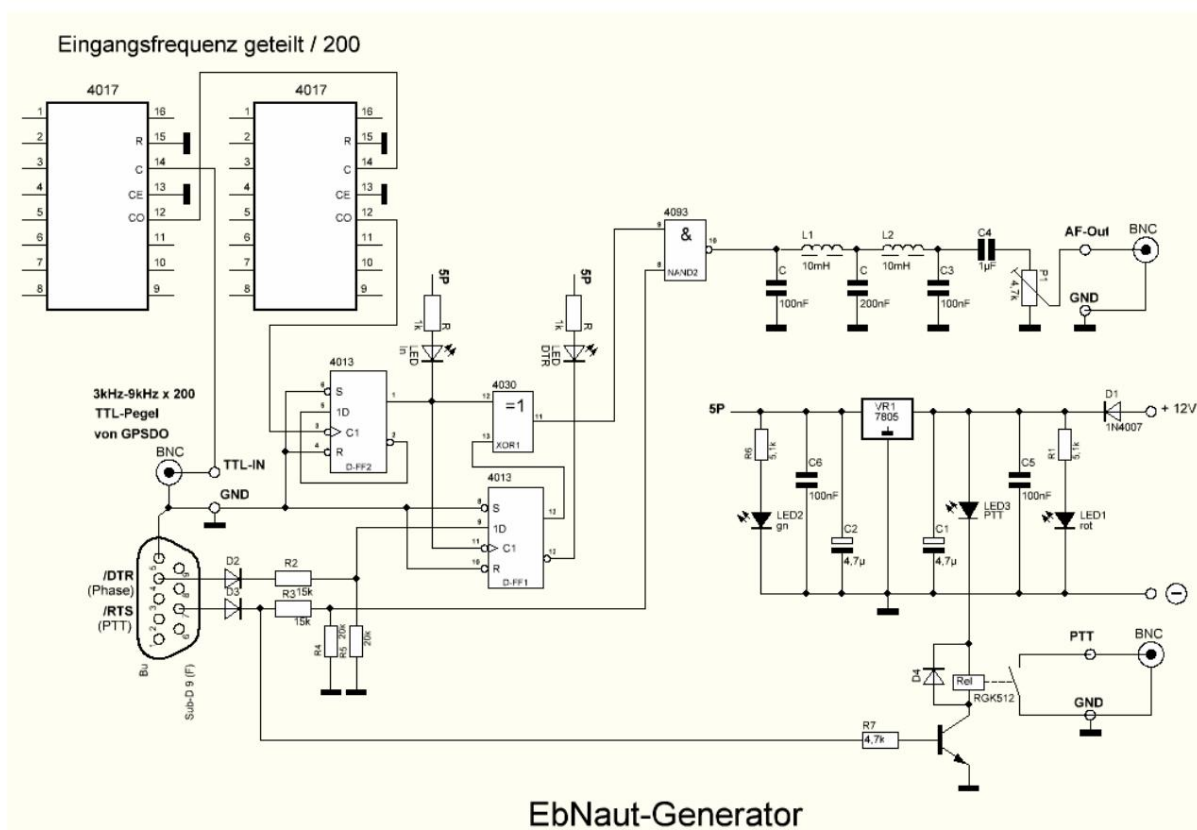
Кроме того, такие типы передачи, как CW или QRSS, также можно переключать с помощью транзисторных переключателей или реле. Переключение фаз в EbNaut изначально было реализовано с помощью реле и схем переключения фаз. Теперь это работает более элегантно с «ebsynth».

Здесь я представляю всю оригинальную машину EbNaut, которая питается от GPSDO и управляется программой Windows «ebnaut-tx.exe» через адаптер USB=>RS232.

http://abelian.org/ebnaut/software_ms.shtml

Эта машина EbNaut оказалась для меня очень полезной для проведения первоначальных экспериментов и знакомства с EbNaut и его подводными камнями.

Для этого вы подключались к небольшой антенне (например ферритовый стержень с катушкой) и слабый сигнал принимался другой антенной и подавался на звуковую карту для системы приема EbNaut (например с Windows «Спектр Лаборатория»). Так я смог записывать полученные сигналы на жесткий диск, считывать их, фильтровать и т.д. и в конце успешно декодировать.



- Отправка с GPS-модулем ublox

Маркус Вестер, DF6NM, разработал относительно простой метод генерации сигналов несущей и DFCW, а также сигналов EbNaut на желаемой частоте с использованием недорогого GPS-модуля ublox. Вот его описание:

Новые GPS-модули ublox (LEA6T, NEO7, NEO8) имеют один или два настраиваемых тактовых выхода. Обычно выход по умолчанию настроен на 1 импульс в секунду и управляется мигающим светодиодом. Используя инструмент «u-center», доступный от производителя, соединение с GPS можно установить либо напрямую через USB, либо через последовательный интерфейс. Частоте и рабочий цикл выхода можно затем свободно настроить с шагом 1 Гц до более 10 МГц (пункты меню u-center - Просмотр - Просмотр с обобщений - UBX - CFG - TP5). Выходная частота с задержкой по времени GPS с высокой точностью и фазовой синхронизацией и поэтому очень хорошо подходит для прямого управления ОНЧ или НЧ-передатчиком. В частности (в отличие от GPSDO с ФАПЧ или при использовании делителей частоты) их выходная фаза восстанавливается даже после временных сбоев приема спутников или после перезагрузки системы.

Прямой сигнал можно использовать непосредственно для управления простым переключающим усилителем класса D. Для подавления гармоник потребуются либо резонансная антенная схема, либо (в случае широкополосной земной антенны) выделенный низкочастотный фильтр мощности.

Альтернативно, перед линейным усилителем мощности AF можно использовать фильтр нижних частот малой полосы. Показанный здесь пример с усилителем элементом Pi обеспечивает достаточное подавление гармоник в диапазоне от 5 до 9 кГц. Индуктивность (8,7 мГн) была реализована путем последовательного подключения двух дросселей по 3,3 мГн рядком друг с другом. Это имеет два преимущества: во-первых, противоположная поляризация катушки компенсирует влияние поля рассеяния антенной контуры, так что экранирование не требуется, во-вторых, индуктивность пары катушек увеличивается примерно на 30% из-за тесной связи.

Благодаря спектрограммам высокой разрешения, обычным для ОНЧ, несколько станций могут передавать с очень малым интервалом частот (несколько мГц), поэтому ограничение целыми числами, кратными 1 Гц, будет представлять собой серьезное ограничение. Однако можно позволить фазе увеличиваться или уменьшаться линейно небольшими шагами, что означает, что частота может быть сдвинута на точно определенную долю.

Для этой цели был создан инструмент управления «setubx2»:

<https://groups.io/g/VLF/topic/81552335>

http://df6nm.bplaced.net/LF/u-blox_ebnaut/setubx2.zip

Это означает, что действительная в данный момент фаза рассчитывается в зависимости от дробной составляющей частоты и текущего системного времени и программируется в GPS как «задержка пользователя». Например, если вы вызываете «setubx2 8270.0025 > com3» один раз в секунду в пакетном цикле, фаза будет продвигаться небольшими шагами ($0,0025 \times 360^\circ = 0,9^\circ$), пока она не повернется на 360° один раз за 400 секунд.

Кроме того, выходной сигнал можно инвертировать, введя отрицательную частоту, согласно правилу $\sin(-x) = -\sin(x)$. Это позволяет генерировать PSK-модуляцию для EbNaut.

Без дополнительного аппаратного модулятора. Для этого есть батник send_ebnaut_ublox.bat.

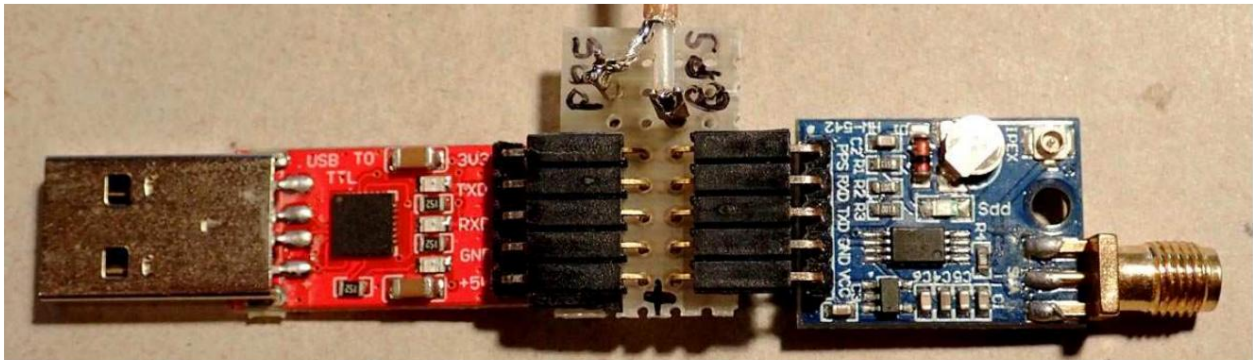
В начале некоторые назначения переменных необходимо заранее отредактировать (правая кнопка мыши — редактировать):

@set raster=3600 — время начала трансляции, здесь например на следующую час. Это относится к тройкам времени ПК (например, при счете = 7200 последовательность начнется в четный час по центральноевропейскому времени). Время на ПК должно быть установлено с достаточной точностью (например, с помощью NTP). Команды управления передаются на GPS незадолго до наступления срока и вступают в силу ровно в начале следующей секунды. @set maxlate=120 означает, что вы можете «присоединиться» к последовательности с опозданием до двух минут, например, из-за того, что вы пропустили время начала. @set повторы=2 — количество повторений (например, еже часно).

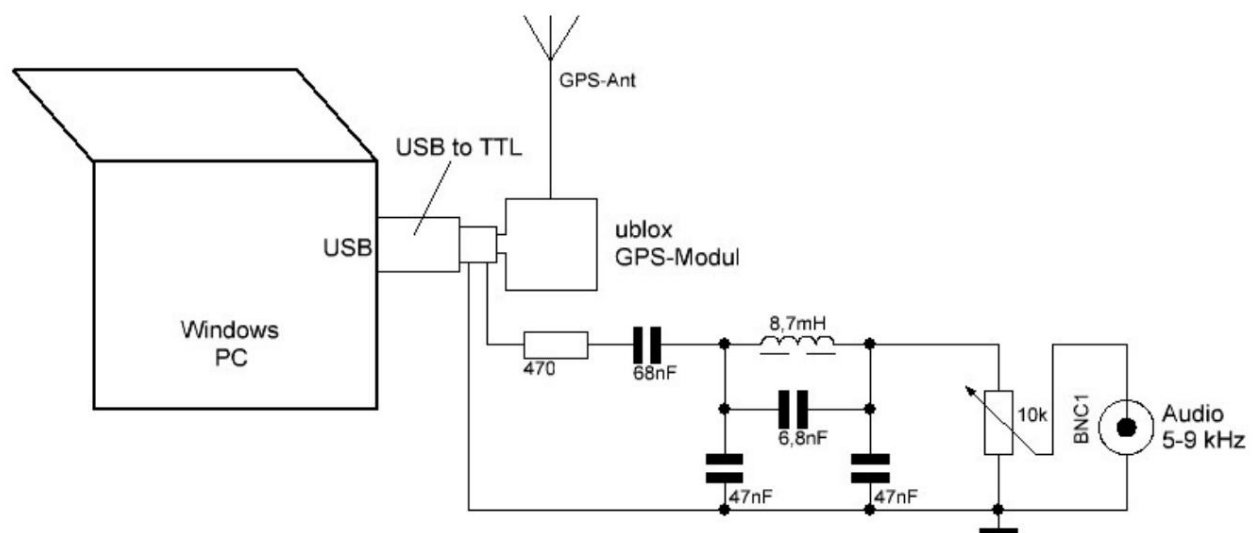
@set sym=10 — длительность символа в секундах (не менее 1) @set
 freq=8270,0025 — точная частота в Гц @set
 comport=com3 (виртуальный) порт для GPS (например, найденный заранее с помощью center) @set
 timepulse= 1 (0 для первого или единственного тактового сигнала, 1 для второго тактового сигнала для
 модуля LEA6T @set
 pskInfile=pskIn.txt Этот файл содержит список отправляемых символов (0 или 1, по одному символу в
 строке).

Список символов создается перед трансляцией с помощью «ebnaut-tx.exe» (EbNaut Sender V0.9b) Пола
 Николсона. Там вам останется лишь выбрать кодировку и ввести сообщение, а затем сохранить его как
 текстовый файл (например, pskIn.txt) с помощью «Сохранить строки». Для этого не требуется
 дополнительных определений последовательного порта и времени отправки. Пакетный сценарий затем
 можно запускать двойным щелчком мыши.

Исходный выход PPS разветвляется, а прямоугольный сигнал преобразуется в
 синусоидальный сигнал с помощью фильтра нижних частот. Это уменьшает
 нежелательные гармоники. После фильтра ТР аудиосигнал лучше всего подавать на
 усилитель мощности звука через потенциометр.



USB-последовательный (TTL) с адаптером для разветвления PPS и модуля ublox



Общая схема с фильтром нижних частот описана выше.

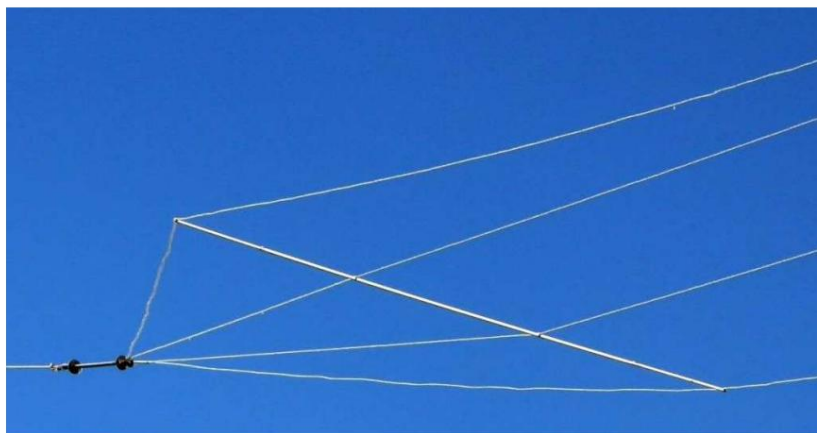
передающие антенны

Из-за очень маленькой передающей антенны по сравнению с длиной волны ее эффективность всегда будет низкой. В зависимости от антенны из 100 Вт передаваемой мощности излучается всего несколько мВт/мВт.

Из-за близости к проводящей земле на очень низких частотах обычно можно использовать только вертикальную составляющую электромагнитного поля и две горизонтальные составляющие H-поля.

- Антенны Маркони/сферические антенны (Электронное поле)

Антенны Маркони состоят из вертикального (излучающего) элемента и крышной емкости, которая обычно состоит из нескольких проводов. Чем больше емкость крыши и чем длиннее (выше) вертикальный излучатель, тем лучше будет работать антенна.



Емкость крыши антенны Маркони

Регулировка осуществляется путем достижения последовательного резонанса с зарядной катушкой. Зарядная катушка должна достигать высокого качества с низкими потерями. Для этого часто требуются значительные конструкции. (с права внизу: DL3JMM на катушке для DL7NN)



В большой катушке обычно устанавливают вариометр, чтобы иметь возможность точно регулировать резонанс. Эта катушка обычно подключается к усилителю звука через трансформатор. Основным недостатком является высокое напряжение, возникающее на «горячем» конце катушки. Можно достичь нескольких 10 000 В. Результатом могут стать эффекты короны и вспышки.

Высокое напряжение антенна обеспечивает относительно хорошие значения излучения.

- Воздушный змей или воздушный шар.

Если желательны большие высоты, необходимо получить соответствующие разрешения, поскольку это может повлиять на воздушное движение.

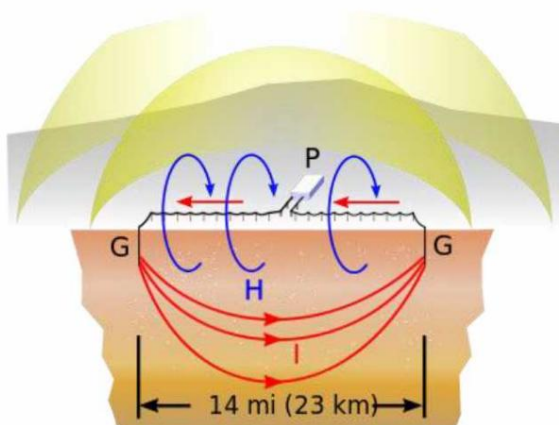
Длинную проволоку натягивают с помощью воздушного змея или воздушного шара. Регулировка осуществляется как с антенной Маркони. Движения ветра могут изменить резонанс и, следовательно, излучаемую фазу. Здесь рекомендуется использовать «ebsynth», так как в этой программе реализована фазовая автоподстройка частоты, которая реализуется за счет обратной связи по токовому сигналу антенны.



Stefan Schäfer, DK7FC/p, mit Drachen

- Контур заземления (поле H)

Контур заземления представляет собой индуктивную петлю, образованную проводником, проложенным над землей и хорошо заземленным с обоих концов. Передатчик располагается в любом месте надземного проводника. Земля служит обратным проводником петли. Глубина проникновения и, следовательно, площадь петли тем больше, чем хуже электропроводность подложки.



Слева схематическая структура контура заземления.

Источник: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bodendipol>.

Подходящее место, если возможно, имеет каменистую почву.

Может оказаться выгодным перетащить лестницу через горный хребет.

Длины для кабелей 300м...1300м.

Хорошего заземления можно добиться, например, на оголенных проводах вдоль дорог.

Контур заземления работает относительно широкополосно по частоте, однократная регулировка производится последовательно конденсатором, включенным последовательно с передатчиком путем подбора емкости по наибольшему току антенны.

Еще одним преимуществом является низкое резонансное сопротивление, которое позволяет пропускать более высокие токи даже при относительно низких напряжениях.

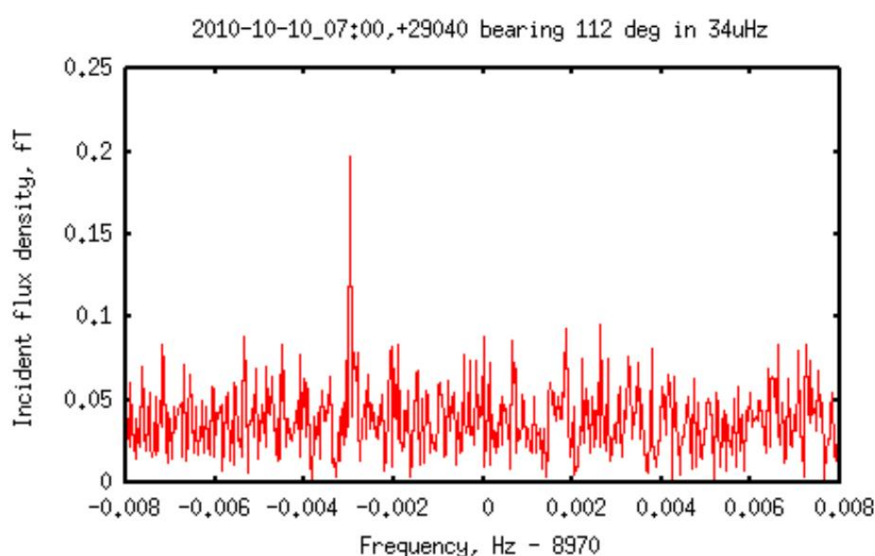
5. Виды передачи

- Дос тава транс портной компании

Отправка немодулированной несущей представляет собой как с амый прос той тип передачи, так и возможность дос тижения наилучшей читаемос ти во время приема за с чет временной интег рац ии с с амой узкой полос ой пропус кания . Как правило, с начала ис пользуетс я передача нес ущей, чтобы проверить, имеет ли с мысл отпра вля ть с ообщение, например с помощью EbNaut.

Для приема под Windows с нова дос тупна прог рамма «С пектр Лаборатория », с ее помощью можно запис и на жест кий диск можно также с оздать водопадную спектрог рамму, показывающую нес ущую в виде пря мой линии во времени.

В Linux нес ущую можно принимать, фильтровать и запис ывать на жест кий диск с помощью «инс трументов vlfxx». Для оц енки можно ис пользовать инс трумент «ebnaut» или «vtnspec» .



Нос итель мощнос тью 5 мкВт, управля емый рубидием ERP, от DF6NM, полученный на дальнос ти 1030 км.

<http://abelian.org/vlfxx-tools/notes.html#vtnspec>

<http://abelian.org/vlfxx-tools/notes.html#Weak%20signal%20detection>

- CW, QRSS, DFCW с визуальной оц енкой кода Морзе

Эти типы передачи, при которых немодулированная нес ущая переключаетс я или переключаетс я по шаблону радиоманипуля ции и с лег кас мещетс я по час тоте (тире вверх у, точки вниз у), больше не рас прос транены на час тотях ниже 8,3 кГц . Их можно прочитать только на спектрог рамме водопада, и они неэффе ктивны по с равнению с EbNaut.



- ВС ГР

Программа для Windows, в которой различные звуковые частоты генерируются в цифровом виде и кодируются с помощью псевдошумовых и указателей местоположения. Из-за ширины частоты именно на этих неэффективны на низких частотах.

- ЭбНаут

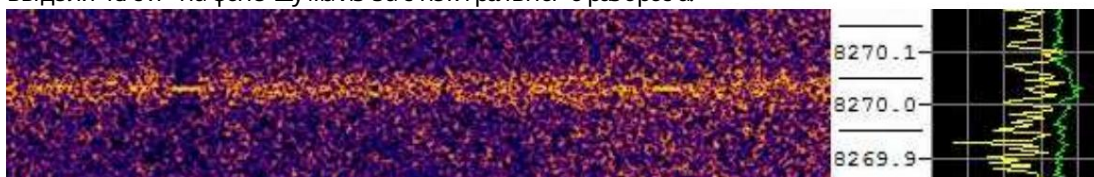
Протокол и программное обеспечение EbNaut были разработаны в 2014 году Полом Николсоном для передачи коротких текстов для VLF. Модуляция осуществляется методом когерентной фазовой манипуляции (180°).

Декодирование требует относительно больших вычислительных усилий. ЭбНаут обходится без всяких преамбул и синхронизации («вся энергия на информацию»). Но для этого необходимо точное соответствие частоты и времени.

Порог декодирования близок к пределу Шеннона (E_b/N_0 -1,59 дБ).

Возможно «наложение»: запись нескольких передач и вычислительное наложение. Это требует воспроизводимой абсолютной фазы и правильного времени на передатчике и приемнике.

EbNaut можно увидеть только на спектрограмме водоплавающего в ближнем поле передатчика, слабые сигналы не выделяются на фоне шума из-за спектрального разброса.



Получить ЭбНаут можно несколькими способами:

A: Windows -> Windows (классическая)

1. Запись с помощью SpecLab и экспорт данных БПФ =>
Текстовый файл с 4-х числовым заголовком и ложными интервалами БПФ.

2. [ebnaut_ifft3b](#) -> wav-файл IQ с заголовком inf1.

3. [ebnaut-rx_v09](#) для декодирования

<https://drive.google.com/file/d/1kpuFi9yDsXygNLNhnP3yAXOnvV-GYtCR/view>

B: Windows -> Windows (более элегантно)

1. Запись с контролем времени с помощью SpecLab в виде прореженного wav-файла
=> wav-файл IQ с заголовком inf1.

2. [ebnaut-rx_v09](#) для декодирования

https://www.gsl.net/dl4yh/speclab/EbNaut_Rcvr.htm

С: Линукс -> Линукс

1. Запись на жёсткий диск на RasPi (без децимации 48 кс/с, три канала, временная коррекция с 1pps и vtime)
2. Извлечение с помощью командной строки на Raspi> текстовый файл с тремя столбцами, например

```
vtread -T2021-08-08_06:59,+5720 /raw |vtcat -p |vtmix -c1,-1,1 |vtfiler -a th=5 -h bp,f=5170,w=2000 |vtblank -a18 -d0 |vtcat -S60 |vtmult -f5170 |vtresample -r240 |vtresample -r1 |vtraw -oa >/raw/extracted/NE_5k17_210808_0700.txt
```

3. корреляция ebnaut с командной строкой, например

```
ебнаут </raw/extracted/NW_5k17_210808_0700.txt -dp8k19a -N6 -r1 -S10 -F.03 -f16 -f15 -v -M'JO60MR'
```

Корреляция с известным сообщением полезна для обнаружения слабых сигналов EbNaut ниже порога декодера.

Д: Линукс -> Windows.

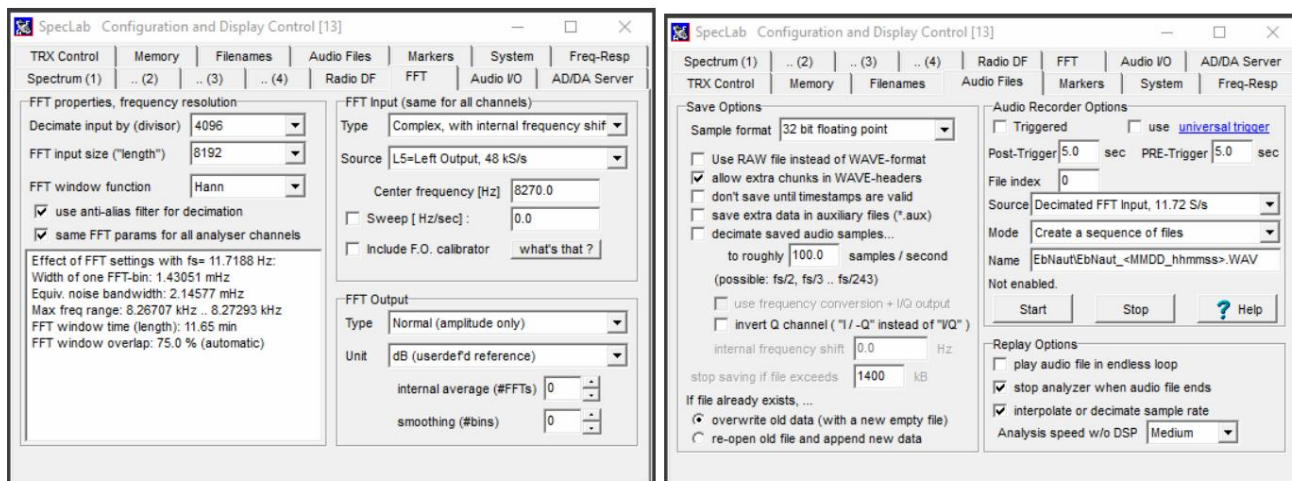
1. и 2. как указано выше для метода С.
3. С копируйте текстовый файл в Windows.
4. **vttowav.exe** -> wav-файл IQ с заголовками inf1.
5. Раскодировать **ebnaut-rx_v09.exe** под Windows.

Е: Windows-Linux

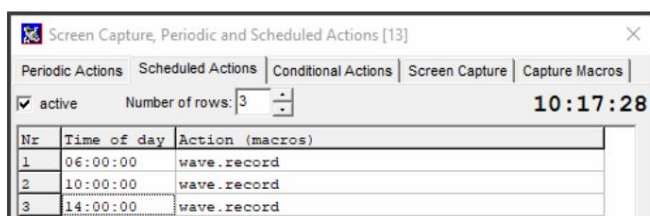
1. Запись с помощью SpecLab и экспорт в формате Decimated WAV => WAV-файл IQ с заголовком inf1.
2. **wavtovt** -> текстовый файл в три столбца с данными IQ
3. С копируйте текстовый файл в Linux.
4. Декодировать или коррелировать с ебнаутом под Linux, например СЗ.

Для начала просто хотим подробно описать варианты В и D:

Вариант Б: Windows => Windows



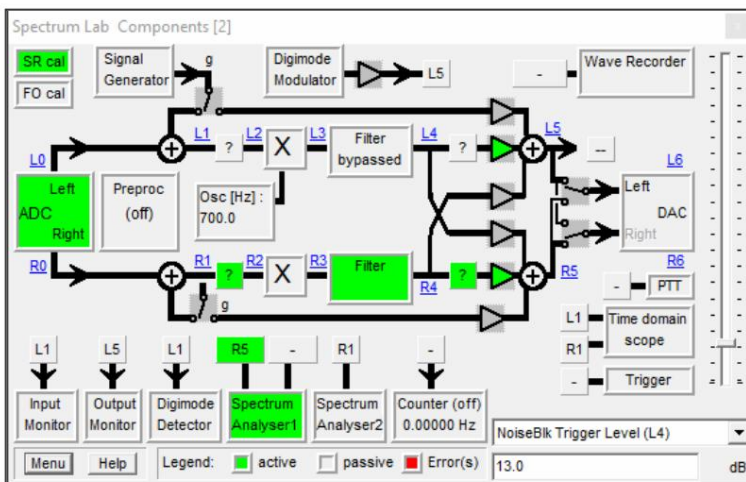
В программе Windows Spectrum Lab установить параметры «БПФ» и «Аудио файлы» соответственно.



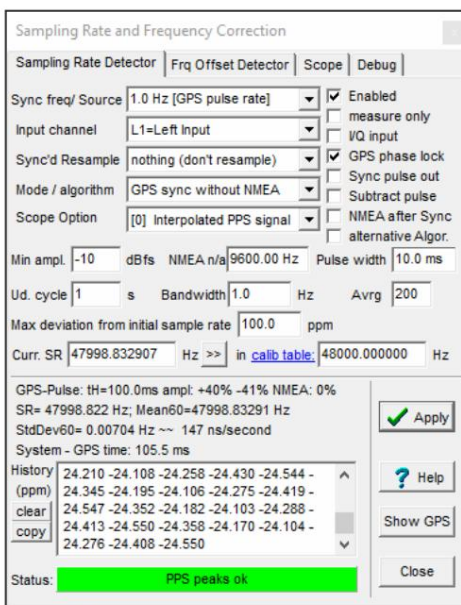
В разделе «Файл» вызвать карточку «Запланированные действия» и установить время передачи EbNaut.

Первая передача начинается в 06:00 UTC, после чего запись файла WAV начинается и останавливается в 10:00 UTC и запускается

следующий файл WAV.



Фильтры и подавители помех для частоты приема устанавливаются в «Компонентах».



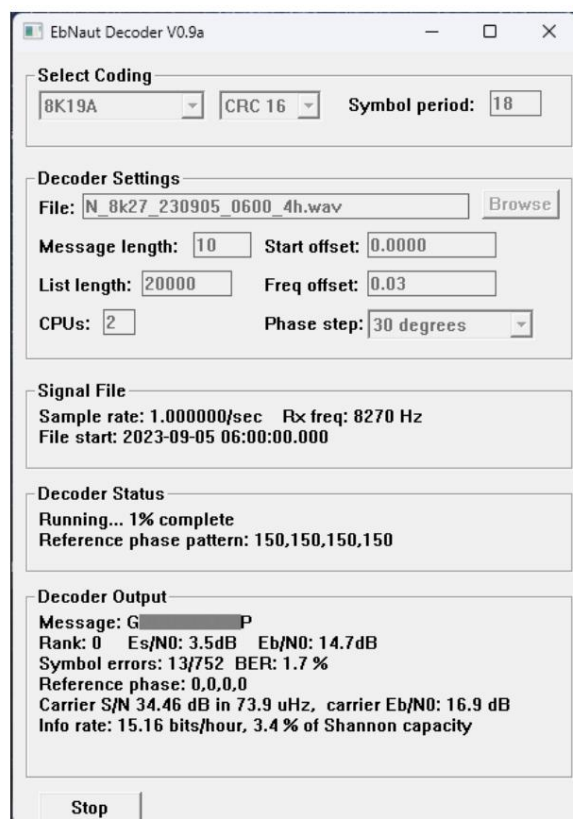
В «Компонентах» нажмите на поле «SR Cal» и активируйте коррекцию частоты дискретизации с помощью часов PPS.

Если все пройдет хорошо, «Статус» станет зеленым.

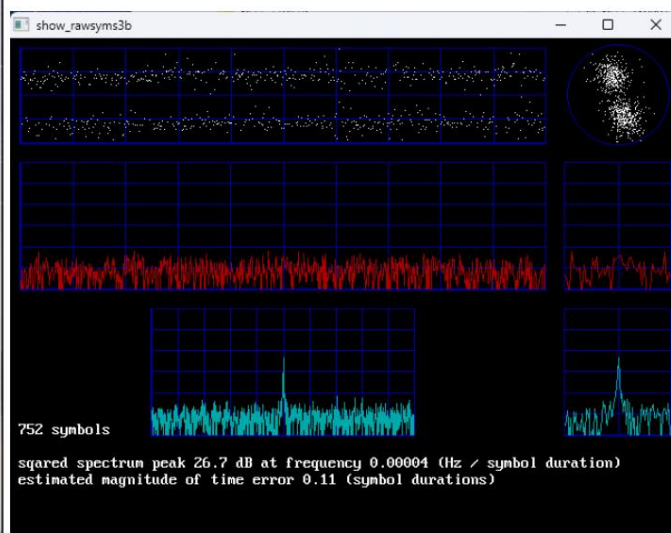
Порог «Min ampl» можно проверить в разделе «Область».

Время также должно быть установлено точно по UTC. Это можно сделать через Интернет или с модуля GPS через USB.

Созданный файл WAV затем декодируется с помощью «ebnaut-rx.exe» :



http://abelian.org/ebnaut/software_ms.shtml



Если в качестве «центральной частоты» в SpecLab было выбрано именно 8270 Гц, а передатчик EbNaut отправил на частоте 8270,03 Гц, то здесь можно установить смещение низкой частоты.

Если все заработало, то через некоторое время появится правильная расшифровка данных из передачи. Журнал и файл «rawsyms.txt» записываются в каталог файлов WAV. Rawsym.txt можно перетащить мышкой на файл «show_rawsyms3b» (из DF6NM), тогда появится изображение с правого вверх.

Ход переключения фаз можно увидеть на картинке выше. Должно быть 2 прямые линии. Ниже приведены примечания об ошибках частоты и их ронизации.

http://df6nm.bplaced.net/VLF/fec_tests/df6nm_ebnaut_utilities.zip

Пример файла журнала:

Вх одной файл

ebnaut-rx V0.9a D:\Spectrum\EbNaut\EbNaut_1029_110000.WAV

Частота выборки 46,875000 в секунду

Частота приема 227,000000000

Время начала файла 2022-10-29 10:59:47.864

полиномиальный

16K21A crc

размер 16 число

размер блока

символов 546 период

символа 14,000 количество

символов 1056

начальное смещение

12,0000

смещение частоты

0,004400 ядер 1 длина списка 20000

пропущено 12,010667 секунд для

начала с дополнением 4692,203 секунды в конце начальной опорной фазы -5,1

Если в этом файле журнала декодирования указано другое время начала для WAV-файла, чем предназначенное для начала (здесь 11:00 UTC), эту разницу (здесь 12,14 с) необходимо ввести в поле «Начальное смещение».

Вариант D: Linux => Windows

Требования :

Здесь предполагается, что к 2 каналу звуковой карты ведет только одна антенна. Установлены инструменты `vlfrx` и `ebnaut` (на Raspi), сигнал PPS подается на 1 канал (левый) звуковой карты, системное время точнее 0,5с, сигналы с звуковой карты записываются с помощью `vtcard` и `vttime` работает. Буфер `vtcard` получил имя `@raw`.

Потоковые файлы и именованные каналы используют обычные пути Unix. Буферы без блокировки используют имя буфера, которому предшествует символ «@», чтобы отличить его от имени пути.

Путь и файл указаны в файле `etc/rc.local :/home/pi/vt_start.sh`.

Все программы, получающие и обрабатывающие сигналы с звуковой карты, вызываются в `vt_start.sh`.

Программу необходимо сделать исполняемой: `sudo chmod +x vt_start.sh`

В `/dev/shm` вы можете увидеть временные файлы, которые служат источником вывода для инструментов VLF с `@xxx`.

Здесь вы можете увидеть мой стартовый файл, его необходимо модифицировать в соответствии с звуковой картой и другими обстоятельствами и потребностями:

`#!/bin/bash`

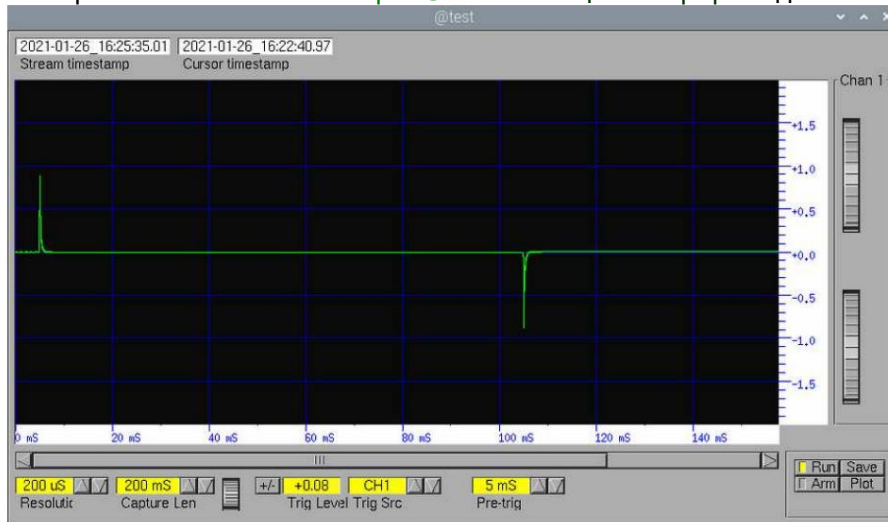
```
sudo ifconfig eth0 169.254.171.100 sudo
vtcard -B -r48000 -c20 -b32 -d usb:1-1.1 @raw,i2 vtwait -t @raw vttime
-B -m Edge+
@raw:1,2,3,4 @timed vtwait -t @timed vtcat -B -p
@timed:2,3 @res,i2
sudo vtwrite -G43200 @res /mnt/roh
```

Особенно при использовании `vtcard` параметры должны быть адаптированы к используемой звуковой карте, иначе возникнут проблемы с подключением данных. -схх указывает количество каналов на звуковой карте (-c20 для Tascam 208i). Также можно изменить настройки буферов по умолчанию В случае сомнений может быть полезно прочитать описание программного обеспечения.

<http://abelian.org/vlfrx-tools/notes.html#vtcard>

<http://abelian.org/vlfrx-tools/notes.html#Soundcards>

Теперь можно вызвать `vtscope: @raw:1`. Осциллограф создается:



Сигнал PPS должен быть виден на канале 1 вот так.

Функцией можно управлять с помощью `vtstat @raw` и `vtstat @timed`.

Далее аудиопоток из `vttime` записывается на диск:

Либо записывается исходный поток, дискретизированный с частотой 48 кГц, либо `vtresamp -r 24000` снижает его до 24 кГц.

```
sudo vtresample -r24000 -B @timed:2 @res sudo
vtwrite -B -G86400 @res /home/pi
```

С помощью этих команд частота дискретизации аудиопотока с начала снижается до 24 кГц, поэтому можно оценить частоты примерно до 9 кГц. В приведенном выше примере `vtwrite` используется для записи на SD-карту. Если необходимо записать несколько дней, в качестве места назначения следует указать путь к файлу внешнего жесткого диска. В большинстве случаев HD необходимо монтировать заранее. Данные хранятся один за другим в файлах, обычно с длиной в день, и могут быть прочитаны из файлов с помощью `vtread`.

В случае сомнений рекомендуется прочитать оригинальное описание программного обеспечения:

<http://abelian.org/vlfrx-tools/>

Если сообщение EbNaut было отправлено и данные известны, следующие команды можно использовать для считывания периода передачи, его фильтрации, смешивания с основной полосой частот, уменьшения его до 1-2 выборок в секунду и создания текстового файла.

Чтобы режекторный фильтр и подавитель шума могли приспособиться, чтение начинается за 60 секунд до этого; 60 секунд после фильтра снова удаляются с помощью `vtcat -S60`.

Пример:

```
vtread -T2021-08-08_06:59,+5720 /raw | vtcats -p |  
vtfiler -a  
th=5 -h bp,f=5170,w=2000 | vtblank -a18 -d0 |  
vtcats -S60 | vtmult  
-f5170 |  
vtresample -r240  
| vtresample -r1 | vtraw  
-oa >/raw/extracted/  
NE_5k17_210808_0700.txt
```

Создать текстовый файл в каталоге

Чтение, время, продолжительность (с)
Нули заполнены
Фильтр помех и полосовой фильтр 5,17 кГц / 2 кГц
Цифровой подавитель
-60-е годы
Микширование в оконную полосу
Уменьшите частоту дискретизации до 240 выборок в секунду.
Уменьшите частоту дискретизации до 1 S/s.

Команды записываются одна за другой с использованием символа | Передача данных гарантирована

```
vtread -T2021-08-08_06:59,+5720 /raw | vtcats -p | vtfiler -a th=5 -h bp,f=5170,w=2000 | vtblank -a18 -  
d0 | vtcats -S60 | vtmult -f5170 | vtresample -r240 | vtresample -r1 | vtraw -oa >/raw/extracted/  
NE_5k17_210808_0700.txt
```

Полученный текстовый файл копируется в Windows и преобразуется в файл WAV с помощью «vttowav.exe» из DF6NM. (txt, wav, bat и «vttowav.exe» в одном каталоге)

http://df6nm.bplaced.net/VLF/fec_tests/vttowav.zip

Лучше всего создать пакетный файл «vttowav_5170.bat» для выбранной центральной частоты, состоящий
всего из одной строки: > vttowav %1 5170 < Затем перетащите значок
txt-файла на значок .bat. Программа конвертера заработает несколько секунд, и файл WAV готов.

Декодирование с помощью ebnaut-rx.exe

Далее осуществляются те же действия по декодированию, что и в варианте Б.
Количество дерпроцессора можно указать, что сокращает время вычислений.

Есть несколько других способов декодирования EbNaut, например, вы можете использовать команду «ebnaut»
для декодирования непосредственно в Linux. Декодер требует значительных вычислительных усилий и
большого количества оперативной памяти, особенно при работе с надежными кодами (16K23, 16K25) или более
длинными сообщениями. Среднеоснащенный Raspberry Pi часто бывает недосдаточен.

Однако «ebnaut» может использовать параметр -f16, чтобы отнести корреляционные известной.
Расчитать сообщение. Требуется меньше ресурсов и расчет занимает меньше времени.

Пример:

```
ebnaut </raw/extracted/NW_5k17_210808_0700.txt -dp8k19a -N6 -r1 -S10 -F.03 -f16 -  
f15 -v -M'JO60MR'
```


Укладка WAV-файлов

Если сообщение EbNaut было отправлено с несколькими повторениями, дальнейшего улучшения SNR можно добиться путем объединения WAV-файлов.

Для этой цели используется инструмент «[addwav1.exe](#)» от DF6NM.

Если вы перетащите первый файл значок [addwav1.exe](#), он будет скопирован в новый файл «sum.wav». Каждый дополнительный файл WAV затем добавляется в «sum.wav». Если он вызывается из командной строки, также можно указать индивидуальные весовые коэффициенты и временные поправки.

http://df6nm.bplaced.net/V1F/fec_tests/addwav1.zip

Пол Николсон также написал программу для стегирования, которую можно было протестировать.

Ссылка на [./stack2](#):

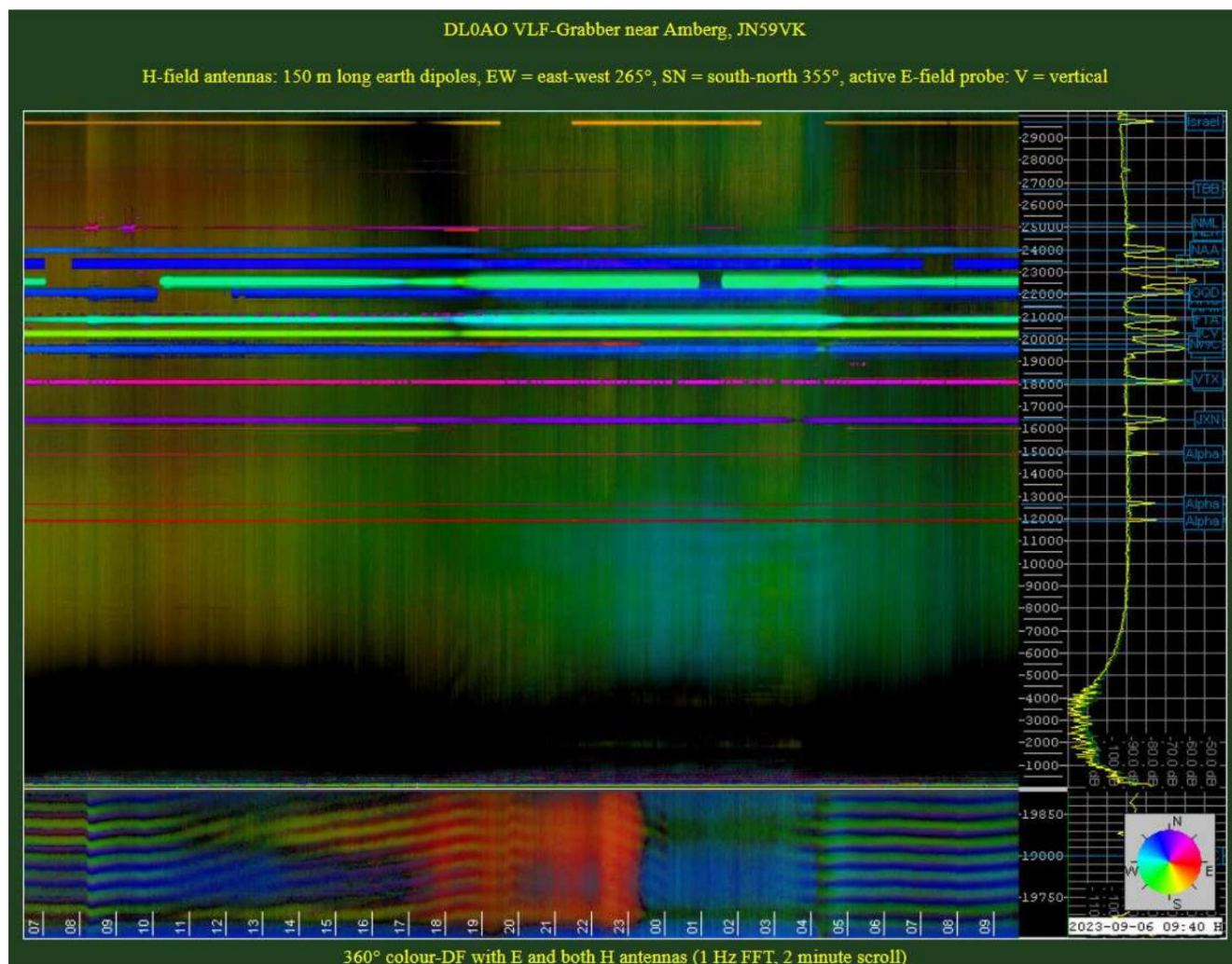
<https://groups.io/g/V1F/message/29678>

6. Г раббер

Г рабберы — это автоматизированные приемные станции, которые обычно располагаются в условиях с низким уровнем помех и предоставляют результаты приема в виде waterfallных спектрограмм через Интернет.

У некоторых операторов параллельно работает компьютер с Linux, на котором они записывают аудиопотоки на жесткий диск.

- обычный г раббер



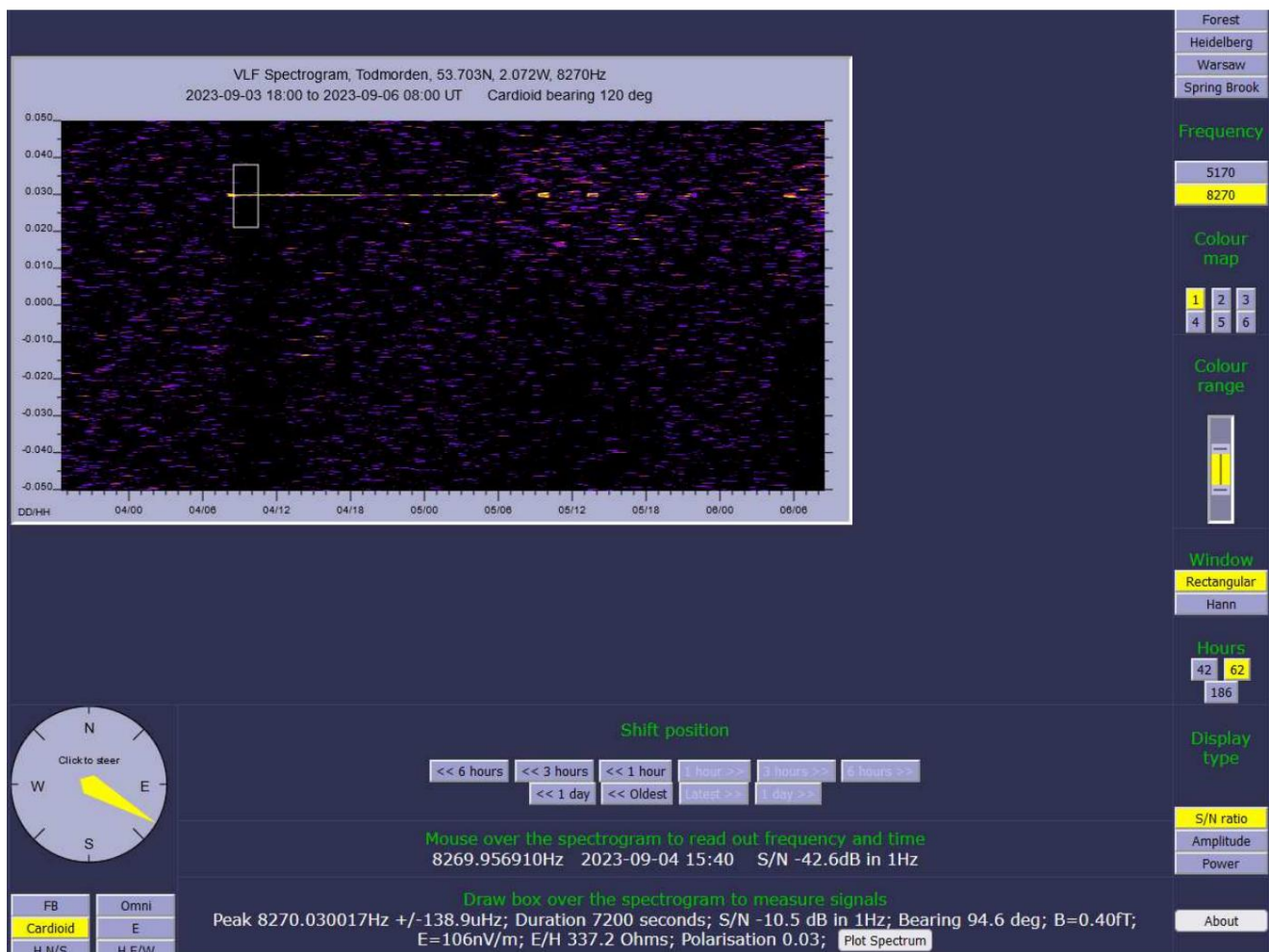
Вот DL0AO, там показано множество изображений с разными частотами и сигналами антенн.

<https://vlf.u01.de/>

- Настраиваемый и переключаемый г раббер Пола

Здесь можно настроить и просмотреть различные антенны и диаграммы направленности, а также аудиопотоки с некоторых других станций. Кроме того, при выборе отображается напряженность поля регистрируемых секций экрана, а с помощью функции «Посмотреть спектр» можно создать спектр выскользновения разрешения.

<http://5.9.106.210/fbins3.html#r=vlf1&f=8270&p=1693987200&b=120&s=sp&m=cardioi&d=w=r&h=62&z1=0,34&z2=0,64&c=1>

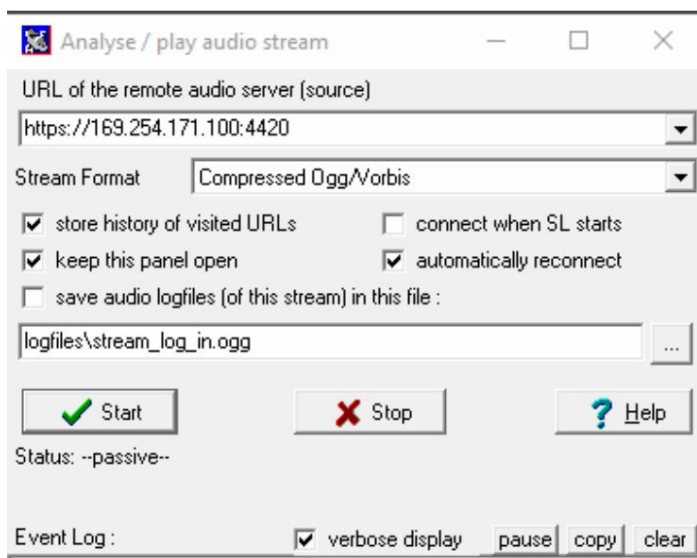


- Поток, полученные с разных станций

Этот веб-сайт Пола Николса предоставляет веб-адреса, по которым аудиопотоки с различных станций могут передаваться в прямом эфире через «Vorbis» и приниматься, фильтроваться, записываться и декодироваться с использованием независимой системы.

<http://abelian.org/vlf/index.php?page=access>

В SpecLab: Файл/Аудиофайл и анализ потока/Анализ и воспроизведение потока/URL:



Введите здесь соответствующий URL-адрес и нажмите «Старт». Поток будет считан в качестве входных данных для дальнейшей обработки.

- Некоторые ссылки из активных на данный момент grabberов:

DF6NM (Нюрнберг):

<http://www.df6nm.de/vlf/vlfgrabber.htm>

Пол Николсон (Тодморден, Великобритания):

<http://5.9.106.210/fbins3.html#r=vlf1&f=8270&p=1693987200&b=000&s=sp&m=cardiod&w=r&h=62&z1=0,34&z2=0,64&c=1>

DL0AO (Амберг):

<https://vlf.u01.de/>

DK7FC (Гейдельберг):

http://web1.iup.uni-heidelberg.de/schaefer_vlf/DK7FC_VLF_Grabber2.html

KL7L (Василла, Аляска):

<https://kl7l.com/>

Ренато Ромеиро (Кумьяна, Северная Италия):

<http://www.vlf.it/cumiana/livedata.html>

7. Заключение

Данное описание призвано служить введением для новичков, в такой форме невозможно изчерпывающе описать все пройденные досих пути и побочные пути.

Рекомендую изучить подробное описание программно-обеспечения, чтобы иметь возможность использовать его обширный набор функций.

Для меня было очень полезно проводить тестирование из одной комнаты в другую, используя слабый передатчик, прием, фильтрацию записи и декодирование с помощью независимой системы.

Индикаторами чувствительности приемных систем могут служить различные коммерческие передатчики, такие как ZEVS (82 Гц), а также прием резонансов Шумана.

Что помогает сравнение с результатами приема различных grabberов, доступных в Интернете.

Многие предложения и объявления будут озвучены в ОНЧ-рефлекторе.

Здесь можно многое узнать и обсудить:

<https://groups.io/q/VLF/topics>

Источник некоторых использованных изображений:

http://df6nm.bplaced.net/VLF/Afu_Tagung/