

И.С. Лавриненков
Практика радиоловителя



Издание 1-е



г. Балашиха

2019

ББК 32.84
УДК 621.396

Автор:

Лавриненков Игорь Сергеевич (R2AJA, UA3119SWL), инженер.

Практика радиолюбителя. Сборник материалов по радиолюбительскому творчеству и конструированию. – 1-е издание. – 2019 –181 с., иллюстрированное.

В предлагаемой книге приведены конструкции радиолюбителя, доступные для повторения и опробованные на практике автором. Рассматриваются радиопередающие устройства, SDR-приём, антенны, а также электронные самоделки.

Данная книга может стать руководством к действию для радиолюбителей и всех, кто интересуется радиоэлектроникой.

Автор выражает благодарность своей жене Юлии за помощь и терпение, сыну Вове, родителям и своим друзьям.

Корректировка текста: Доброхотов Д.Э.
Обработка изображений: Тиновицкий А.А.

Свои замечания и предложения можно направлять на e-mail: r2aja@mail.ru

Авторские права на данное произведение защищены законодательством Российской Федерации и нормами международного права.

© Лавриненков И.С., 2019

Содержание

Введение	4
Глава 1. Передатчики, маяки и модуляция сигнала	5
1.1 Периодический генератор на 74HC00.....	5
1.2 Коротковолновый генератор на 74HC240 по схеме N7KSB.....	8
1.3 Радиоловительский маяк с манипуляцией от аудиосигнала [CW/OOK].....	15
1.4 Радиоловительский маяк с двухтактным усилителем мощности [CW/OOK].....	23
1.5 Радиоловительский маяк с усилителем на BS170 [CW/OOK].....	29
1.6 Радиоловительский маяк на SI5351 с усилителем на BS170 [WSPR/FSK].....	34
1.7 Генераторы на частоты от 450 кГц до 465 кГц.....	40
1.8 Передача сообщений телеграфом.....	43
1.9 Сверхмедленный телеграф QRSS.....	49
1.10 Формат «Feld-Hell».....	52
1.11 Формат передачи данных «Опера».....	56
1.12 Выбор частоты и времени работы радиоловительского маяка.....	60
Глава 2. Приёмные устройства: работа с SDR и скиммерами	62
2.1 SDR – приёмник ZetaSDR.....	62
2.2 Чувствительность и подавление зеркального канала.....	69
2.3 Настройка программ «CW Skimmer» и «RBN Aggregator».....	74
2.4 Настройка программы «WSPR 2.12» от K1JT.....	82
2.5 Некоторые особенности работы SDR с WSPR.....	85
2.6 Применение сетей «WSPRNET» и «RBN» для получения телеметрии маяков.....	88
Глава 3. Антенная техника	93
3.1 Датчик электромагнитного поля.....	93
3.2 Антенна «Луч» для размещения типа «окно-дерево».....	95
3.3 Согласование антенн двухэлементными LC – звеньями.....	101
3.4 Кнопочный T-тюнер на дискретных элементах.....	111
3.5 Магнитная рамочная антенна.....	115
3.6 Ферритовая антенна.....	124
3.7 Антенна «Mini Whip».....	127
3.8 Антенна «Inverted-V».....	133
3.9 Удлиненный четвертьволновый «Ground Plane» с двумя противовесами.....	140
3.10 Антенна «VP2E» с концевым питанием.....	143
3.11 Двухэлементный волновой канал на 20М.....	146
3.12 Антенна «Волновой канал» на диапазоны 20М+15М.....	158
3.13 Влияние угла излучения антенн коротких волн на дальность радиосвязи.....	162
3.14 Турникетная антенна круговой поляризации диапазона 70 см.....	167
Глава 4. Электронные самоделки	170
4.1 Металлоискатель на трёх транзисторах с кварцевой стабилизацией опорного генератора.....	170
4.2 Автоматический светильник для подсветки растений.....	173
Заключение	175
Приложение А. Текст прошивки CW – радиомаяка.....	176
Приложение Б. Текст прошивки Hellschreiber (Feld Hell) – радиомаяка.....	178
Приложение В. Текст прошивки радиомаяка в режиме «Opera».....	180
Приложение Г. Электронные материалы к книге.....	181

Введение

Радиолобительство – интересное, многогранное и наукоёмкое хобби. Каждый, кто соприкасается с ним, находит что-то интересное для себя, будь то проведение связей с коллегами по увлечению, участие в соревнованиях, проведение радиолобительских экспедиций или коллекционирование QSL-карточек.

Данная книга рассказывает о таком направлении этого хобби как конструирование различных радиолобительских устройств. Она состоит из отдельных разделов, посвященных конструкциям простых передатчиков, маяков, SDR-приёму, антеннам и согласующим устройствам, а также электронным самоделкам, не относящимся напрямую к любительской радиосвязи.

Надеюсь, она сможет ответить на вопросы читателя: как сделать маломощный CW- или WSPR-маячок, как собрать и начать работу с SDR - приёмником, как настроить компьютер для автоматического приёма CW/WSPR-сигналов с передачей спотов в сети «RBN» и «WSPRNET», как настроить антенны, включая многоэлементные «волновые каналы», для использования совместно с передающими и приёмными устройствами, описанными в данной книге.

Предполагается, что читатель уже знаком с правилами работы в эфире, как в качестве лицензированного радиолобителя, или как радионаблюдатель, либо готов получить радиолобительскую лицензию (для работы с передающими устройствами, что необходимо для соблюдения как Российского, так и международного законодательства в сфере коммуникации и связи).

Читать книгу можно в любом порядке. Каждый раздел снабжен списком рекомендуемых материалов и литературы. Большое внимание уделено использованию современной элементной базы и доступных материалов, которые наверняка найдутся у читателя. Предлагаемые конструкции, как возможно уже хорошо известные из других источников, так и собственные разработки, описаны в своём видении автора, проверены практически и снабжены иллюстрациями. Приведены рекомендации, схемы, графики и таблицы измерений, которые могут пригодиться при самостоятельном проектировании и макетировании.

Желаю творческих успехов!

Глава 1. Передатчики, маяки и модуляция сигнала

1.1 Периодический генератор на 74НС00

Назначение такого передатчика – тестирование и настройка антенн. Знакомство с передатчиками лучше всего начать со стабильно-работающей схемы генератора на логической микросхеме типа 74НС00. 74АС00, 74АСТ00 тоже подойдут, а вот аналоги типа К155ЛА12, К555ЛА3, 1553ЛА3 заводятся не всегда.

Микросхема 74НС00 состоит из четырёх логических инвертирующих элементов И-НЕ, рис. 1.1.1. Нумерация ножек микросхемы начинается слева от ключа и идет против часовой стрелки.

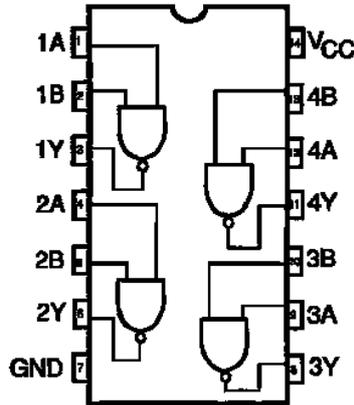


Рис. 1.1.1. Распиновка микросхемы 74НС00

При соединении определенным образом входов и выходов логических элементов получаем положительную обратную связь и, как следствие, генерацию. Схема была предложена радиолюбителем UI7K на форуме клуба RU-QRP [1].

Для периодического радиомаячка по примеру Первого Спутника, передававшего «Бип-Бип-Бип» разделяем микросхему на две части – низкочастотный (НЧ) генератор и высокочастотный (ВЧ) генератор. Первый из них задает периоды посылок, а второй генерирует высокочастотные колебания.

Принципиальная схема генератора, построенная в среде моделирования Micro-Cap 7.1.6 показана на рис.1.1.2.

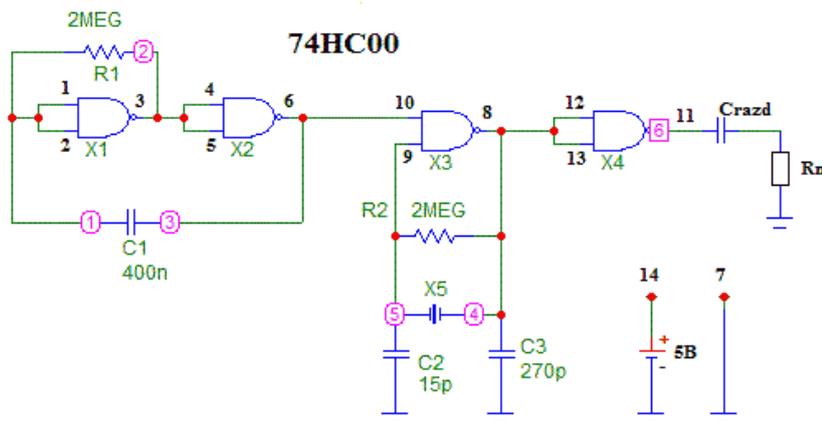


Рис. 1.1.2. Принципиальная схема генератора на 74НС00

Левая часть схемы на элементах микросхемы обозначенных X1, X2 является низкочастотным генератором. Для регулирования следования посылок можно изменять сопротивление R1 в пределах от 200 кОм до 2.2 МОм, ёмкость C1 в пределах от 10 нФ до 4 мкФ. Величина питающего напряжения, также влияет на период следования (Тп) и длительность (Ти) посылок.

Рекомендации к настройке НЧ-генератора:

- снижение питающего напряжения увеличивает Ти и почти не влияет на Тп;
- снижение R1 до сотен кОм, уменьшает длительность Тп и Ти;
- снижение ёмкости C1 до десятков нФ уменьшает длительность Тп, почти не влияет на Ти.

Элемент X3, является высокочастотным генератором, по схеме Пирса, частота задается элементами R2, C2, C3 и кварцевым резонатором X5. Элементы можно изменять в разумных пределах, общее правило – увеличивать C2, C3 с уменьшением частоты кварцевого резонатора.

Кварцевый резонатор необходимо подбирать исходя от желаемого диапазона работы, учитывая рекомендованные частотные планы, с которыми можно ознакомиться в «Регламенте радиосвязи» или на сайте IARU в разделе HF (короткие волны).

Питающее напряжение +5 В подается на вывод (14) 74НС00, а «земля» и минус питания к выводу (7). Пределы питающего напряжения (Vcc) рекомендую уточнять по спецификации примененной микросхемы. В данном случае Vcc может быть от 2 до 6 В.

Элемент X4 является по сути буферным, и с него мы будем снимать выходное высокочастотное напряжение. Вывод (11) следует подключить к эквиваленту нагрузки или антенне. Эквивалентом нагрузки можно использовать резистор с сопротивлением от 25 до 1000 Ом, на мощность 0.125 Вт. Для развязки от постоянной составляющей напряжения на выходе микросхемы можно подключать нагрузку к выводу (11) через разделительную ёмкость Срзд от 0.01 до 1 мкФ.

Собрать схему можно навесным монтажом, на макетной плате, а лучше всего – подготовить и протравить плату из фольгированного текстолита. Здесь каждый сам выбирает удобный для себя вариант. Правильно собранная схема работать начинает сразу. Если же этого не происходит, нужно, в первую очередь, проверить правильность полярности питания, затем наличие низкочастотных сигналов на выходе (6) 74НС00. Вольтметр подключенный к выходу (6) должен показывать периодически появляющееся напряжение в районе напряжения питания, около 5 В. Если импульсы фиксируются, проверяем вывод (11) на 74НС00. В моменты запуска ВЧ-генератора (X3), на выходе вольтметр показывает напряжение около 2.5 В. Если не работает НЧ- или ВЧ-генератор проверяем элементы или подбираем их номиналы. Удобнее проверять схему на осциллографе, при его наличии.

С указанными номиналами на схеме передатчик запускался с кварцевыми резонаторами от 3.5 МГц до 21 МГц без дополнительных подстроек.

Приведу осциллограммы, снятые с выхода данного маячка на холостом ходу. Кварц был установлен на 18 МГц.

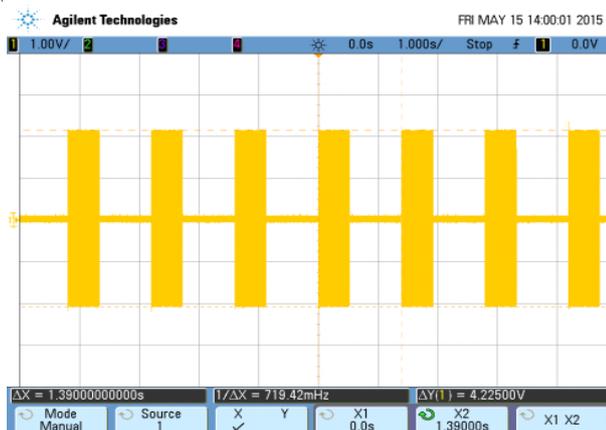


Рис. 1.1.3. Осциллограмма посылок периодического генератора

По осциллограмме рис. 1.1.3. оценим период следования посылок T_n как 1.4 с, длительность посылки T_i как 0.5 с.



Рис. 1.1.4. Осциллограмма ВЧ-напряжения в момент генерации

Выходной ВЧ-сигнал несинусоидальный, с множеством гармоник. Для их подавления, в дальнейшем, можно подключить на выход ВЧ-генератора фильтр низкой частоты (ФНЧ). Выходная мощность периодического генератора при текущих параметрах схемы может составить от 10 до 40 мВт и зависит от напряжения питания.

Внешний вид собранного устройства представлен на рис. 1.1.5. Плата нарисована лаком на кусочке фольгированного текстолита размером 28 мм х 57 мм.

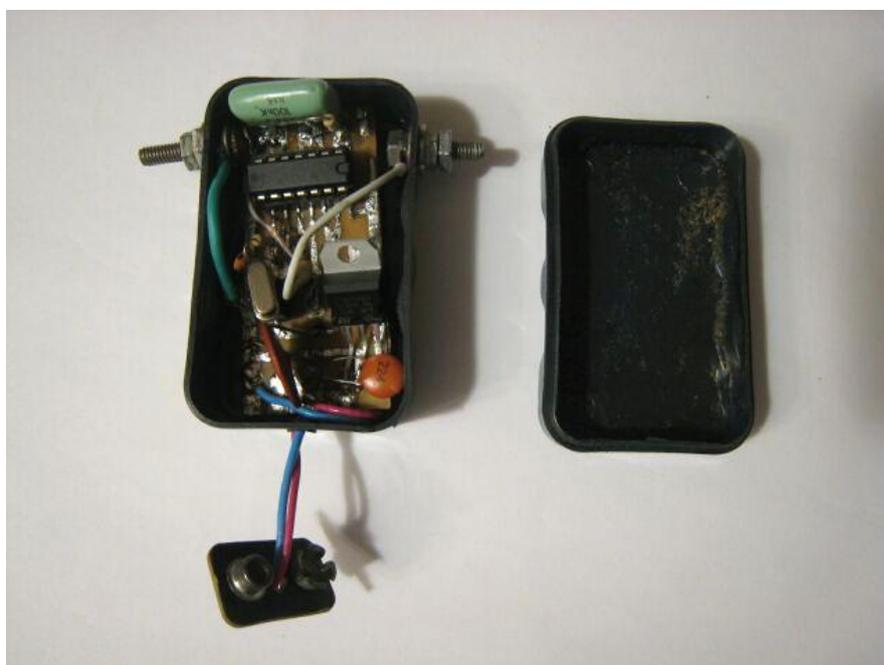


Рис. 1.1.5. Внешний вид собранного передатчика в корпусе

Справа снизу установлен стабилизатор входного напряжения типа LM7805 на +5 В. Его использование необязательно при питании от аккумулятора или батарей. Выход микросхемы (11) и «земля» (14) выведены на винты, используемые для подключения антенны типа диполь. При использовании металлических канатиков без изоляции их длину

можно рассчитать, как $L = \lambda / 4$, где λ – длина волны, которая, в свою очередь, определяется как отношение скорости света к рабочей частоте генератора. Например, для частоты 14 МГц, получаем длину волны 21.42 метра, а длина каждого плеча антенны по 5.35 метра. Допускается закрепить маячок на самой высокой точке (от 2 до 5 метров), а плечи наклонно растянуть вниз, чтобы получилась антенна «Inverted-V» (подробнее об этой антенне см. Главу 3, Раздел 3.8).

Наблюдать сигналы с данного передатчика можно на однополосный приёмник (SSB), или на бытовой КВ-АМ-приёмник, настроенный на частоту кварцевого резонатора, однако слышны будут лишь «щелчки», вместо тональных сигналов. На рис. 1.1.6 показан комплект, состоящий из периодического генератора, плеч антенны, кассеты аккумуляторов и бытового КВ-АМ-приёмника.

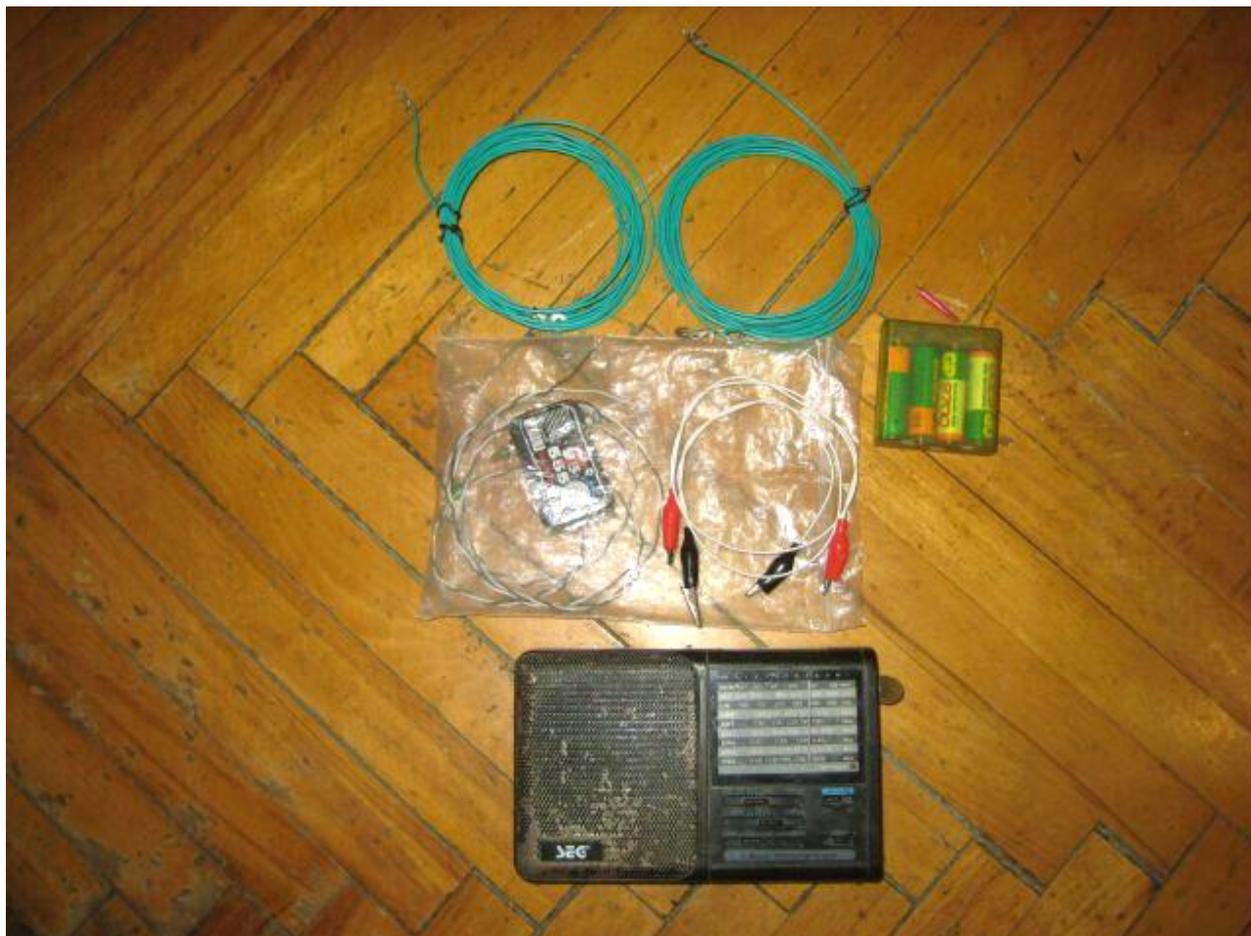


Рис. 1.1.6. Комплект для работы с маячком-генератором

Дополнительная информация:

[1] Материалы форума «Маяк автономный полевой эволюция UI7K» <http://qrp.ru/forum/15-Маяки/12748-Маяк-Автономный-Полевой-Эволюция>

1.2 Коротковолновый генератор на 74НС240 по схеме N7KSB

Данный генератор многократно упоминается в глобальной сети, многие статьи ссылаются на автора схемы N7KSB. Высокая стабильность и повторяемость этой схемы позволяют использовать этот генератор во многих применениях. Принципиальная схема генератора показана на рис. 1.2.1.

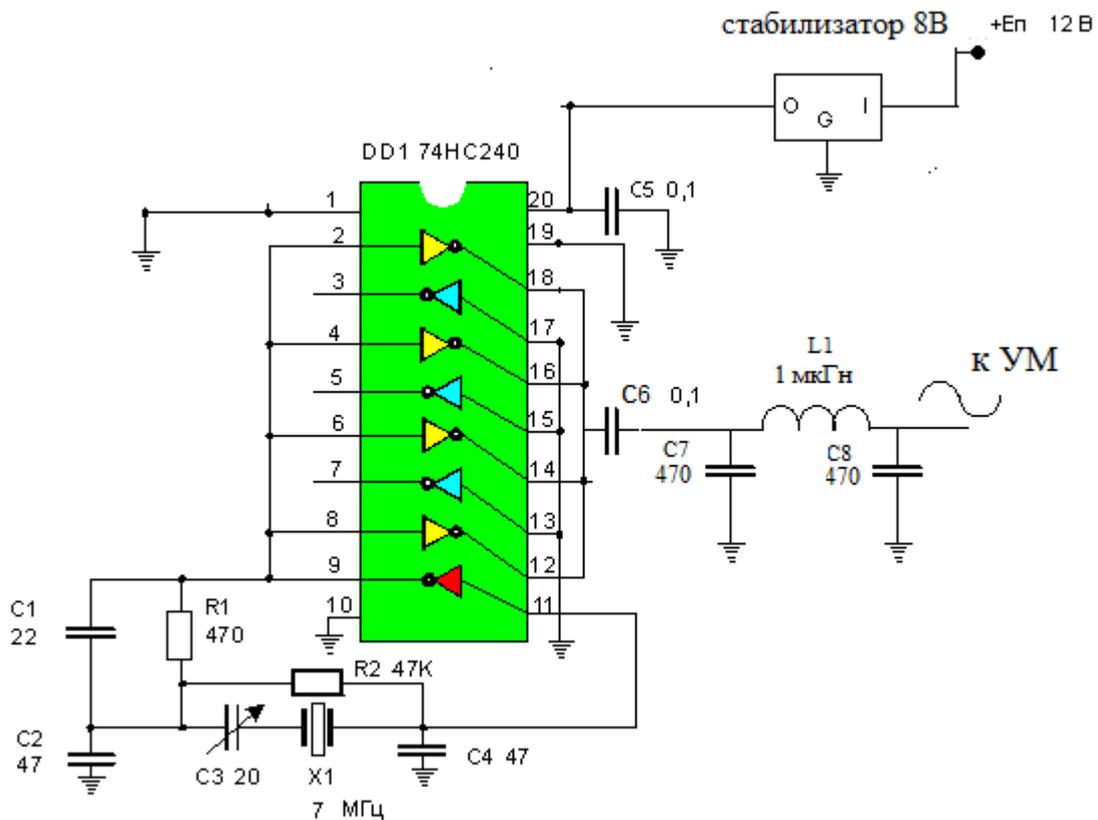


Рис. 1.2.1. Принципиальная схема генератора на 74НС240

Микросхема 74НС240 может быть как в корпусе DIP20, но всё чаще встречается в SO20 для поверхностного монтажа. Использовать можно любой вариант. Подойдут микросхемы серий НС, НСТ, АС, АСТ.

Генератор формирует колебания высокой частоты. Управление генерацией осуществляется через контакты (1) и (19). Логическая «1» кодирует отсутствие генерации, логический «0» кодирует наличие генерации. В данной схеме оба эти контакта объединены и подключены на «землю», следовательно, генерация будет постоянной при подаче питания. Возможно использовать данный генератор в качестве передатчика сигналов Морзе, коммутируя его по питанию, либо используя резисторный делитель, для управления выводами (1) и (19).

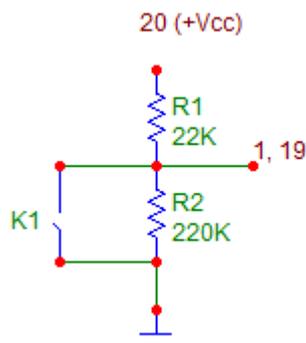


Рис. 1.2.2. Схема подключения ключа для генератора

На схеме показан стабилизатор напряжения (L7808CV) на +8 В типа. Вход «I», выход «O» и общий вывод «земля» - G.

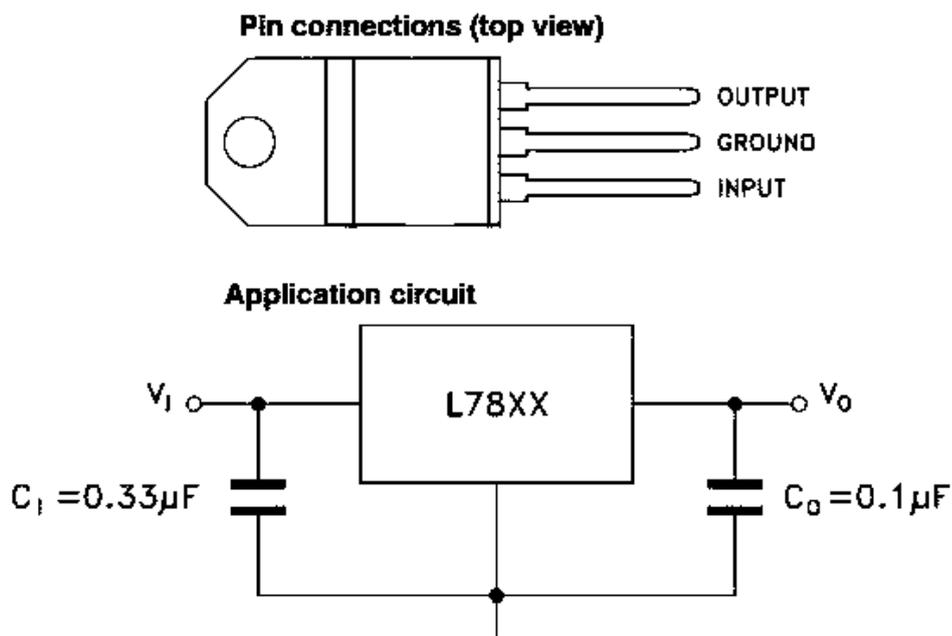


Рис. 1.2.3. Схема подключения стабилизатора напряжения

Указанное N7KSB напряжение питания +8 В от микросхемы стабилизатора является предельным, которое потребует радиаторного охлаждения 74HC240 и все равно может разрушить её. Рекомендую подавать напряжение не выше +7 В на контакт (20) микросхемы. Для этого подойдут стабилизаторы: KP142EH5Б, L7806CV на +6 В, L7805ADV на +5 В. Указанные стабилизаторы обладают запасом по току не менее 1 А.

Вы можете использовать менее мощные, учитывая реальный потребляемый ток генератором см. табл. 1.2.1.

Таблица 1.2.1. Потребляемый ток и выходная мощность генератора

Напряжение,	Ток, А	Мощность, мВт
7	0.1	196
6	0.08	134
5	0.06	85
4	0.05	50
3	0.03	24
2	0.01	4
1	0	0

Перед подключением обязательно проверьте распиновку стабилизатора по его спецификации. Также можно обойтись и без стабилизатора, используя батареи, например, сборку из трёх или четырёх пальчиковых батареек «АА». Элементы C1, C2, C3, C4, R1, R2, X1, DD1 и нижний инвертор (отмечен красным) образуют колебательный контур. Частота контура зависит от установленного кварцевого резонатора X1 и может быть подстроена в пределах нескольких кГц ёмкостью C3.

С указанными элементами на схеме генератор стабильно запускается на частотах от 3.5 МГц до 28 МГц. Для работы на частоте 1.8 МГц следует увеличить ёмкость C2 до 500 пФ.

С буферных элементов – инверторов, отмеченных жёлтым цветом через разделительную ёмкость C6 сигнал попадает на однозвенный фильтр (ФНЧ) C7, L1, C8,

который ослабляет высшие гармоники. Примерные номиналы ФНЧ представлены в табл. 1.2.2.

Таблица 1.2.2. Номиналы ФНЧ

Диапазон	Рабочая частота	L1	C7	C8
160М	1.8 МГц	4.4 мкГн	0,00176 мкФ	0,00176 мкФ
80М	3.6 МГц	2.23 мкГн	894 пФ	894 пФ
40М	7.2 МГц	1 мкГн	470 пФ	470 пФ
30М	10.15 МГц	0.79 мкГн	315 пФ	315 пФ
20М	14.1 МГц	0.57 мкГн	226 пФ	226 пФ
17М	18.15 МГц	0.44 мкГн	176 пФ	176 пФ
15М	21.1 МГц	0.38 мкГн	151 пФ	151 пФ
12М	24.9 МГц	0.32 мкГн	127 пФ	127 пФ
10М	28.2 МГц	0.28 мкГн	113 пФ	113 пФ

Ослабление такого однозвенного фильтра составляет для второй гармоники около 10 дБ, для третьей гармоники около 20 дБ. Читатель может построить ФНЧ второго, третьего и т.д. порядка самостоятельно для лучшего подавления высших гармоник при необходимости.

После подачи питания проверяем объединённый вывод (12,14,16,18) на 74НС240. Вольтметр должен показывать постоянное напряжение от 2 до 4 В, в зависимости от напряжения питания.

Зависимости излучаемой (красным) и потребляемой (синим пунктиром) мощности (в мВт) от напряжения питания показаны на рис. 1.2.4.

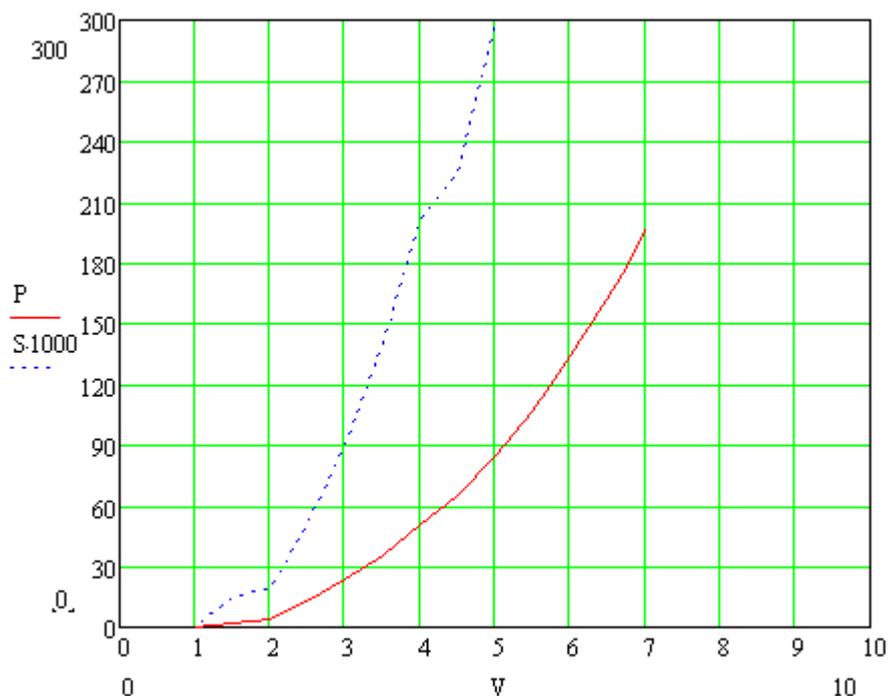


Рис. 1.2.4. Зависимость излучаемой и потребляемой мощности

Зависимость КПД генератора от напряжения питания показана на рис. 1.2.5.

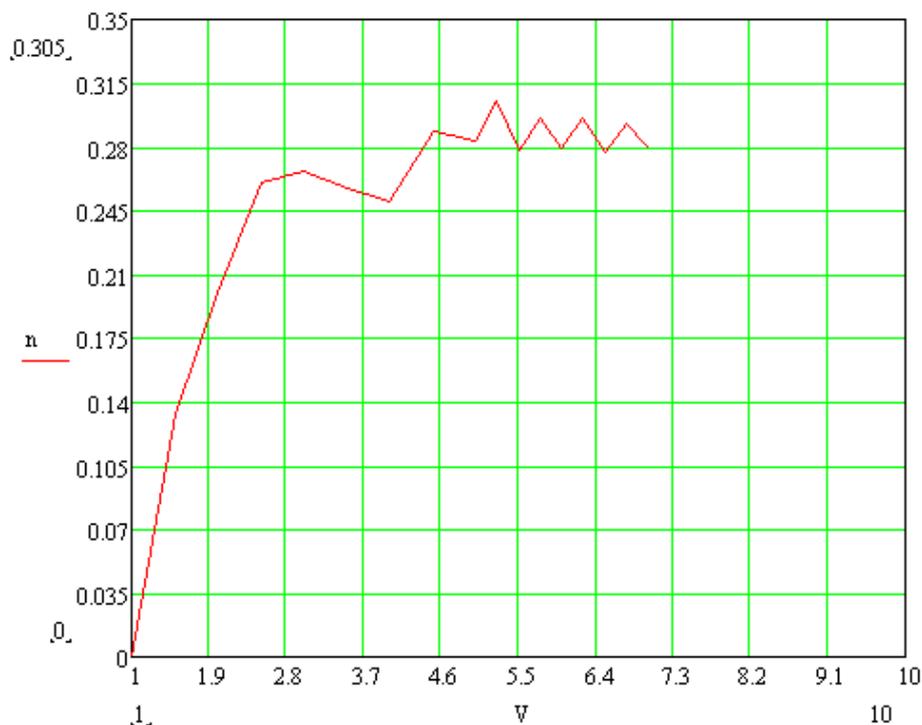


Рис. 1.2.5. КПД генератора

По представленным графикам можно сказать, что генератор обладает максимальным КПД около 30% при напряжении питания не ниже 3 В.

Для примера на рис. 1.2.6 показана осциллограмма выходного сигнала для генератора настроенного на частоту 18 МГц, с двухзвенным ФНЧ на выходе.

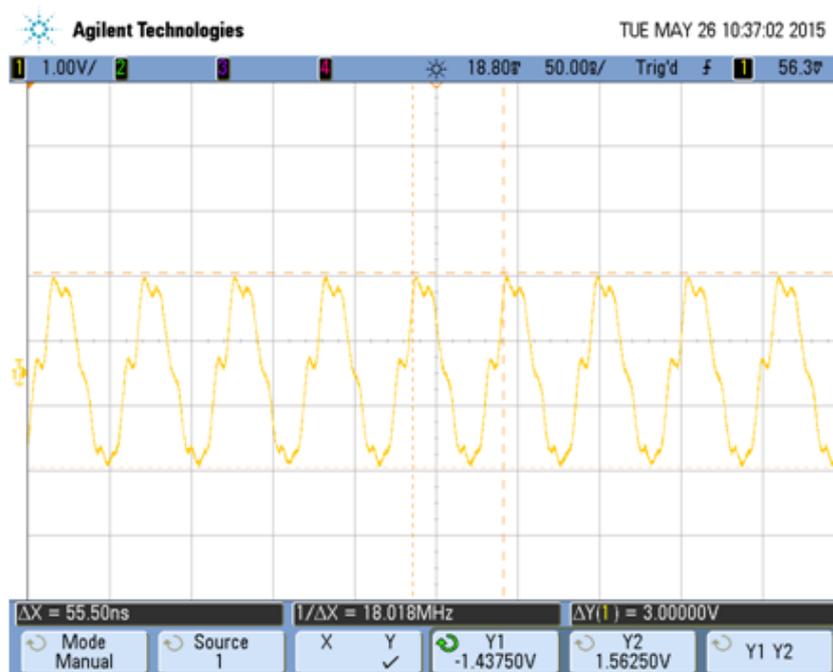


Рис. 1.2.6. Осциллограмма выходного сигнала генератора

Оценим гармоники такого генератора по анализатору спектра. На рис. 1.2.7 показан спектр выходного сигнала для генератора настроенного на частоту 18 МГц, с двухзвенным ФНЧ на выходе.

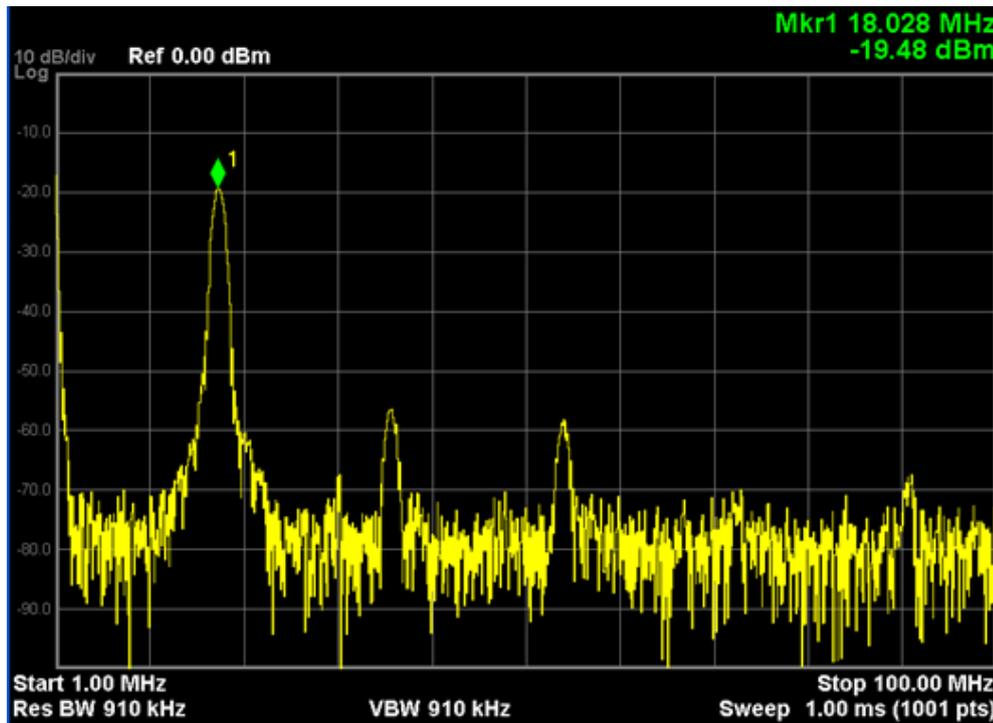


Рис. 1.2.7. Частотный спектр выходного сигнала генератора

Измерения проводились с внешним аттенуатором в 40 дБ, следовательно, основная гармоника имеет уровень 20 дБм, вторая гармоника меньше основной примерно на 35 дБ, третья гармоника меньше примерно на 38 дБ.

Приведу для примера картинку с анализатора, при отсутствии ФНЧ.

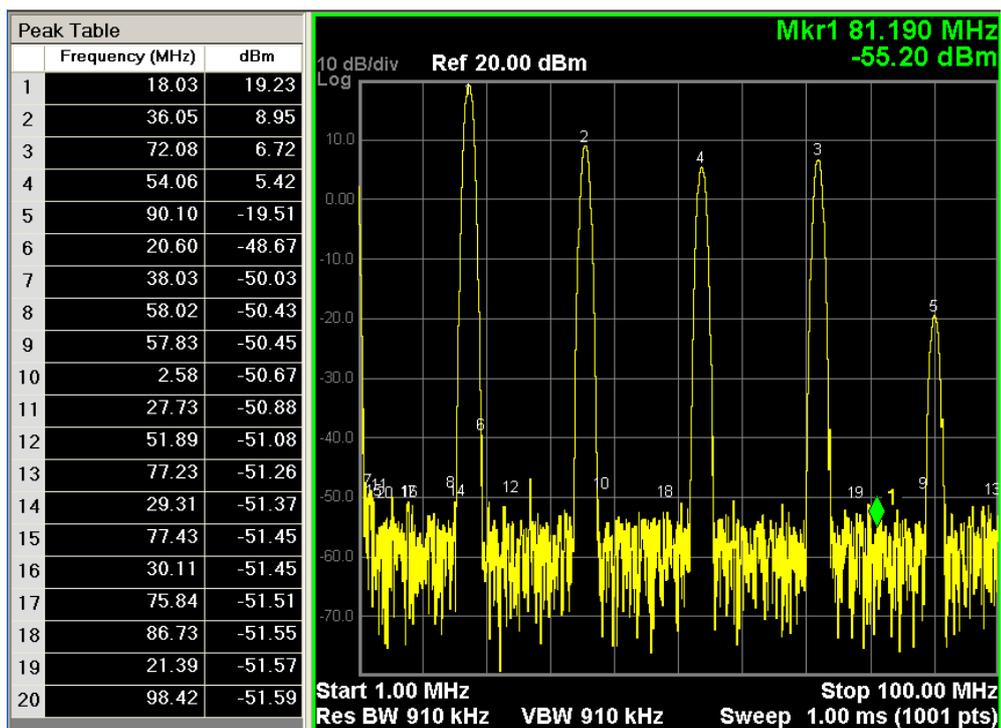


Рис. 1.2.8. Частотный спектр выходного сигнала генератора без ФНЧ

Как видим, уровни гармоник достаточно высокие, т.к. генератор формирует на выходе меандр.

Внешний вид генераторов показан на рис. 1.2.9. Платы подготовлены по «Лазерно-утюжной технологии» - ЛУТ.



Рис. 1.2.9. Внешний вид генераторов на 74HC240

Оба образца собраны на основе микросхемы 74HC240 в корпусе SO20. В нижнем варианте использованы SMD детали для построения контура генератора, также установлен ФНЧ фильтр и стабилизатор питания на +5 В. Такой генератор может быть подключен к усилителю мощности (УМ), к антенне или эквиваленту нагрузки (резистор от 15 до 100 Ом).

Максимальную отдачу мощности можно получить, подбирая элементы ФНЧ для конкретной нагрузки.

Дополнительная информация:

- [1] «Искусство работы QRP.» Виктор Беседин (UA9LAQ) <http://www.cqham.ru/artqrp.htm>
- [2] «Измерение мощности маячка на 74HC240.»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/03/74hc240.html>
- [3] «Работа генератора на 74HC240 на разных частотах»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/11/74hc240.html>
- [4] «Исследование генератора на 74HC240. Измерение выходного сопротивления.»
http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/07/74hc240_18.html
- [5] «Измерение выходного сопротивления генератора ВЧ на 74HC240»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/07/74hc240.html>
- [6] «Эволюция генераторов на 74HC240»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/03/74hc240.html>
- [7] «MM74HC240 Inverting Octal 3STATE Buffer. Datasheet.»
<http://lib.chipdip.ru/320/DOC000320346.pdf>
- [8] «Сдвиг частоты диодом на генераторе 74HC240»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/11/74hc240.html>

1.3 Радилюбительский маяк с манипуляцией от аудиосигнала [CW/OOK]

Полученные знания о работе генератора на микросхеме 74HC240 позволяют рассмотреть возможность его использования в качестве передатчика автономного радиомаяка.

Предлагаемая схема не требует знаний программирования микроконтроллеров, т.к. манипуляцией передатчика, ключеванием, будет заниматься аудиоплеер или любое другое устройство воспроизведения звука.

Используется ключевание непрерывного колебания CW – амплитудная манипуляция Amplitude Shift Keying или ASK. Конкретнее, её частный случай - On-Off Keying, OOK, при котором существуют два состояния ВЧ-колебания – включено или отключено.

На рис. 1.3.1 показана принципиальная схема маяка.

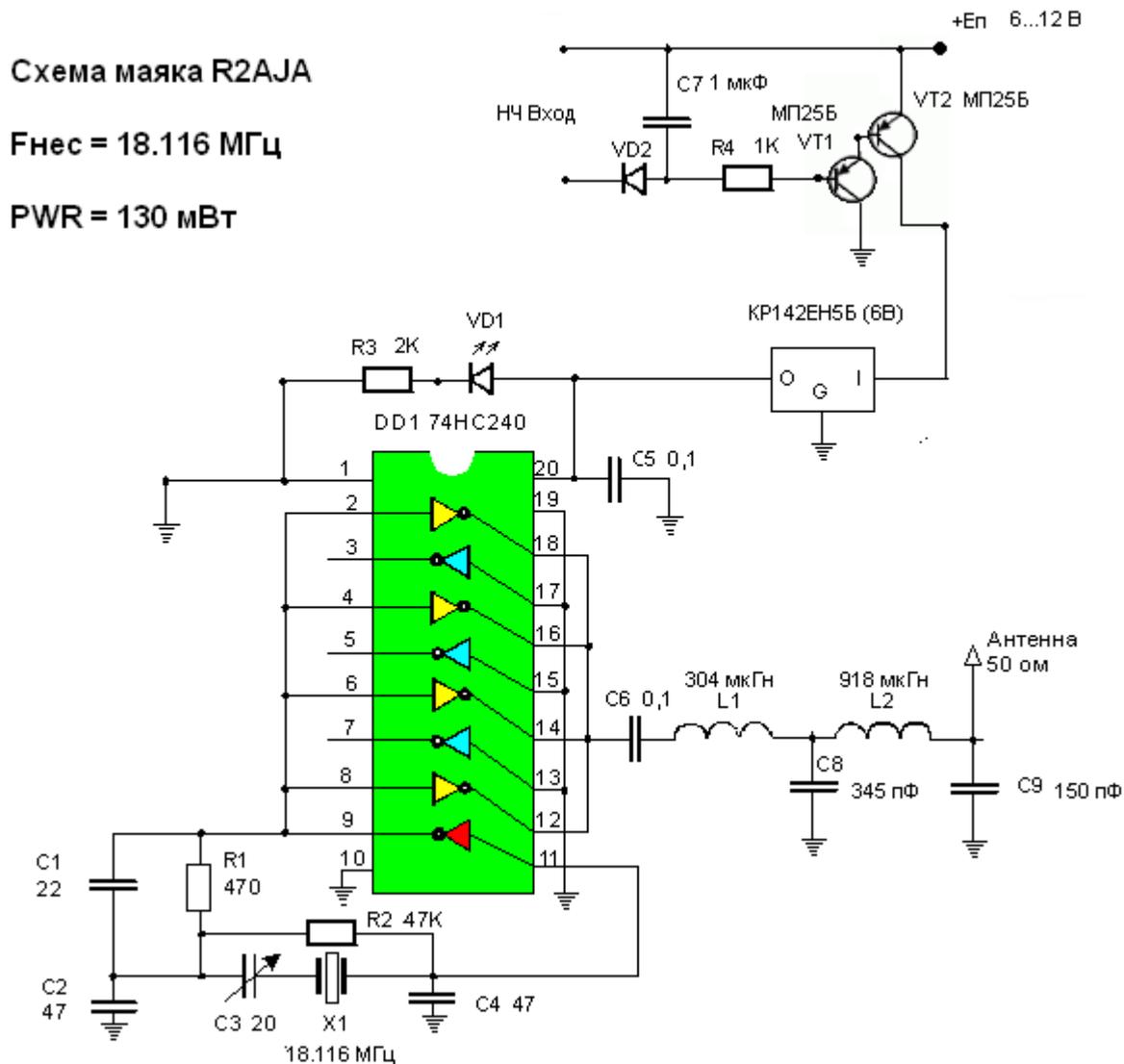


Рис. 1.3.1. Принципиальная схема маяка с ключеванием от аудиосигнала

Выходной фильтр строится на реактивных элементах L1, C8, L2, C9 и рассчитывается, на пропускание частот 17-метрового КВ диапазона, с максимальным ослаблением высших гармоник. Читатель должен подобрать ФНЧ согласно диапазону, проектируемого маяка, см. табл. 1.2.2.

Питание генератора выполняется через стабилизатор типа KP142EH5B или L7806CV на +6 В. В качестве индикатора работы используется светодиод VD1 который вспышками отображает передаваемую морзе-последовательность.

Кодирующее НЧ-устройство – любое устройство, способное воспроизводить записанный звук морзе-последовательности: аудиоплеер, диктофон, телефон. На схеме рис. 1.3.1 показан только НЧ-вход.

Демодулятор аудиосигнала строится на диоде VD2 и транзисторах VT1, VT2, которые коммутируют питание ВЧ-генератора.

Эквивалентная модель демодулятора показана на рис.1.3.2.

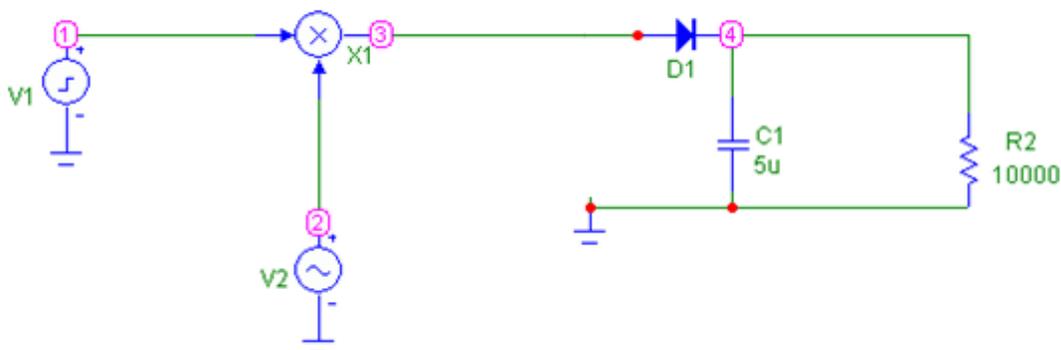


Рис. 1.3.2. Эквивалентная модель демодулятора

R2 – нагрузка демодулятора.

Вид сигналов на входе и выходе демодулятора показан на рис. 1.3.3.

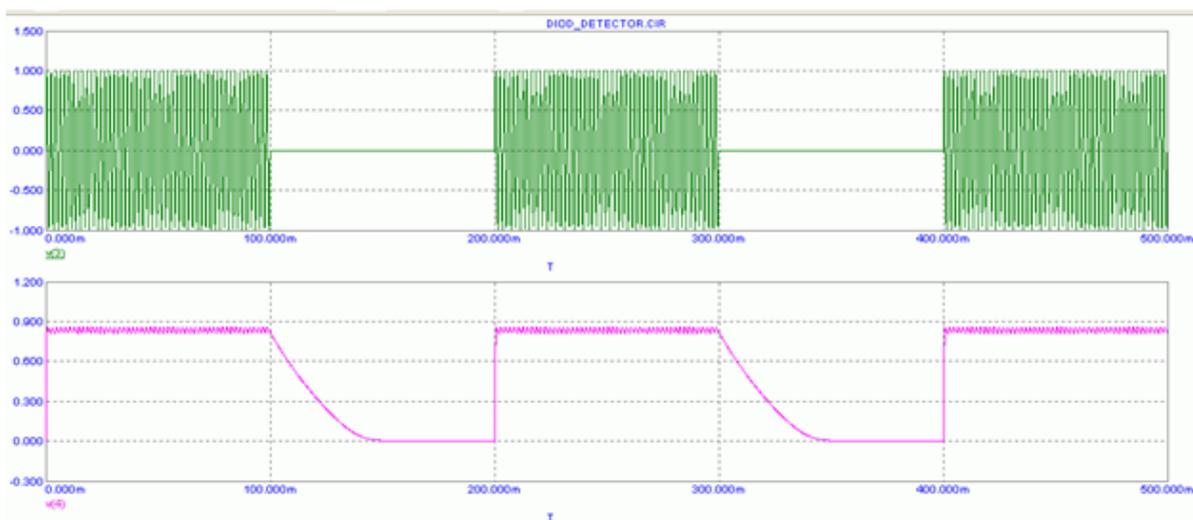


Рис. 1.3.3. Вид сигналов на входе и выходе демодулятора

Поступающая звуковая частота на вход демодулятора преобразуется в импульсы отрицательного напряжения, которые открывают транзисторы VT1, VT2. Здесь применены низкочастотные германиевые транзисторы типа МП25Б, это связано с тем, что аудиосигналы достаточно слабые, а порог открывания германиевого транзистора ниже чем у кремниевого.

При использовании в детекторе ёмкости $C7 = 0.1$ мкФ, генератор ведет себя как амплитудный модулятор - АМ. Это связано тем, что ёмкость пропускает звуковые колебания после детектора на микросхему, тем самым колебания выходного тока питания транзистора соответствуют колебаниям звуковой частоты. Для перехода от АМ модуляции к СW, ёмкость следует использовать не менее 1 мкФ.

Записать СW-последовательность в аудиофайл можно в программе «WinMorse» v 2.0.

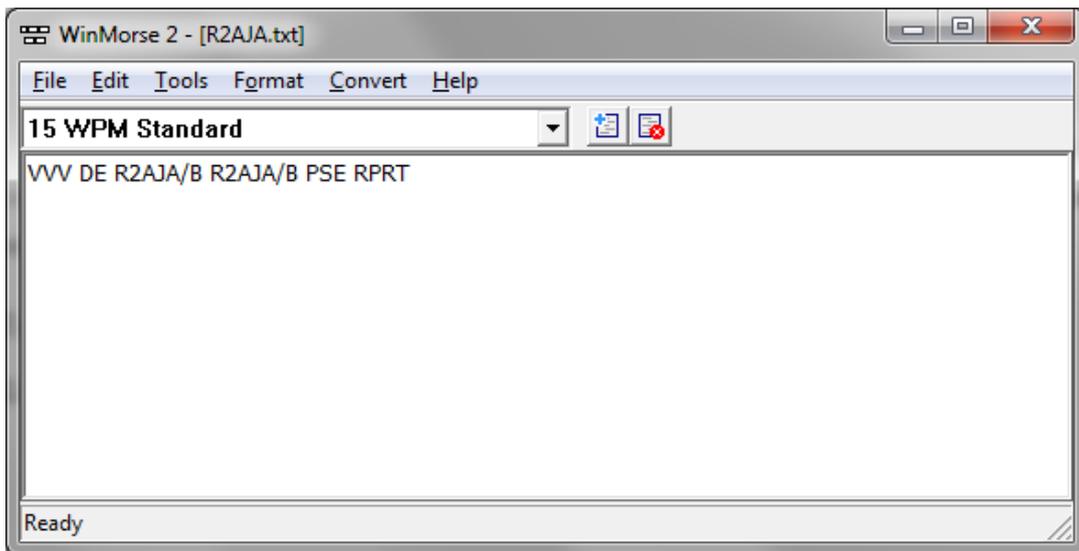


Рис. 1.3.4. Окно программы «WinMorse» v 2.0

Выбираем скорость передачи от 10 до 20 WPM, вводим текст, который будет передавать маяк. Он должен состоять из признака начала передачи VVV, позывного сигнала дробь В, что означает, что это вещает маяк. Также можно добавить информацию о координатах (WWLoc) и некоторых параметров самого маяка. Например: «VVV DE R2AJA/B R2AJA/B PSE RPRT». Далее нажимаем Convert>Audio Files>Make Morse-Wave (.wav) File. В открывшемся окне ждем Make File. Полученный файл можно сразу записать на аудиоустройство или предварительно выполнить его нормализацию (например в «CoolEdit Pro 1.2a»). Transform>Amplitude>Normalize. Далее выбрать Normalize to 100%, нажать «Ок» и сохранить полученный файл. Это приблизит амплитуду сигнала к предельному значению без искажений.

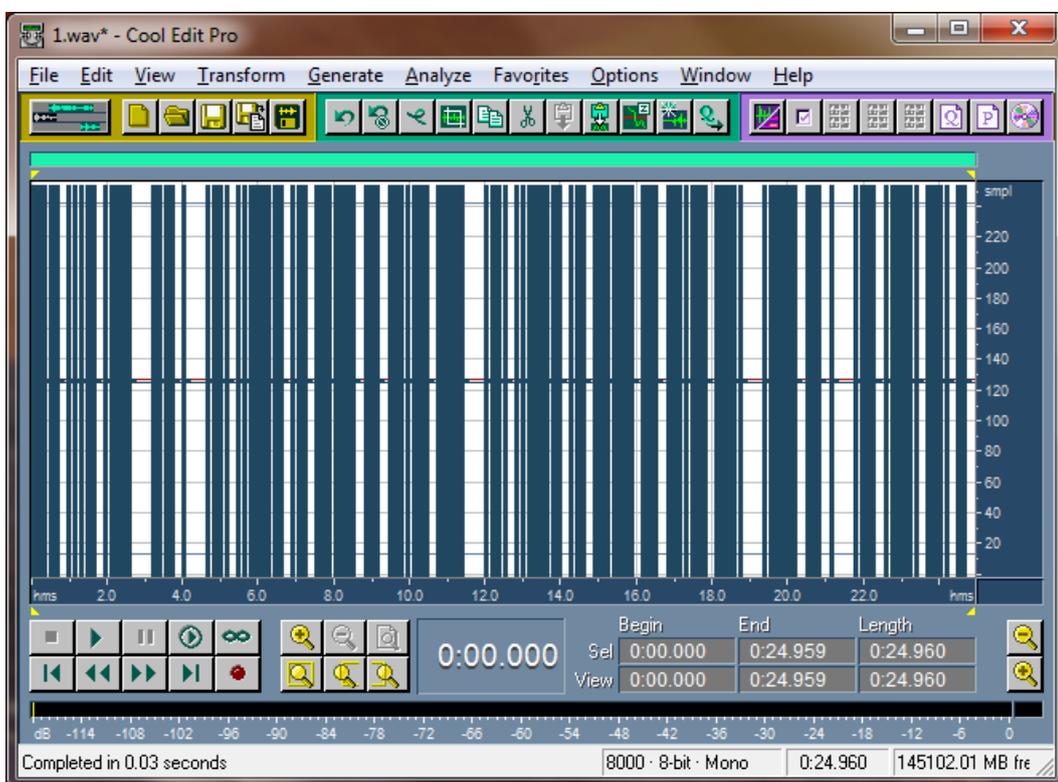


Рис. 1.3.5. Окно программы «Cool Edit 1.2a»

Файл должен быть записан с максимально возможной громкостью, а выходное устройство воспроизведения было настроено на громкость, близкую к максимальной, чтобы выделяемое детектором напряжение было около 0.3 В.

Далее следует подключить выход аудиоустройства к предложенной схеме. При правильной работе устройства светодиод начнет подмигивать в такт передаче, а на выходе передатчика появится промодулированное ВЧ-напряжение см. рис. 1.3.6.

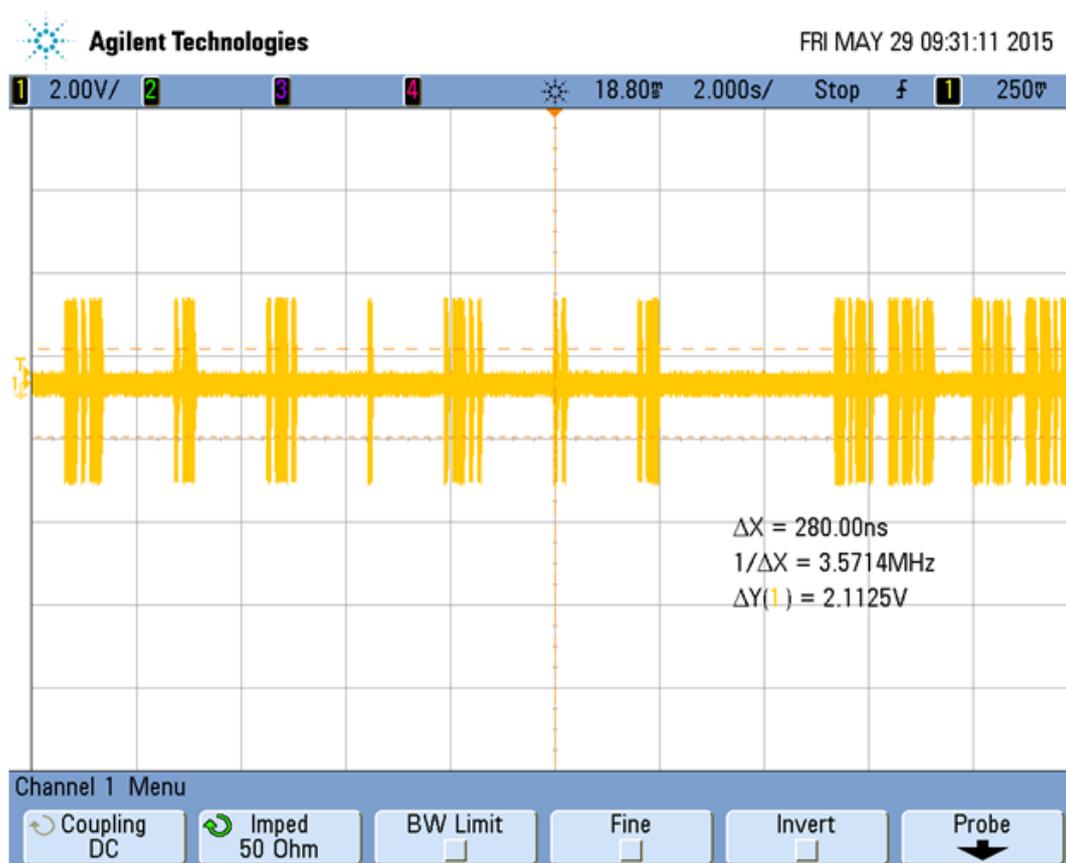


Рис. 1.3.6. Осциллограмма выходного сигнала маяка

На показанной осциллограмме читается KARELIA CQ CQ. (маяк готовился к тестированию в Карельской тайге). К слову сказать, «Ищу тебя» или «CQ» в тексте маяка использовать нежелательно, т.к. это большей частью прерогатива оператора-человека. О использовании телеграфа для передачи сообщений подробнее описано в разделе 1.8.

Для работы в режиме Hellschreiber (Feld Hell) Вам необходимо записать аудиодорожку или аудиофайл с текстом маяка с помощью любой радилюбительской программы, способной работать в данном режиме, например, «Fldigi». Принцип формирования сигнала, такой же, как и при передаче морзянкой, т.е. «нажал-отпустил». Наборами точек кодируются изображения букв. Подробнее о формате можно прочитать в разделе 1.9.

Пример изготовленного передатчика с модулятором в корпусе представлен на рис. 1.3.7.

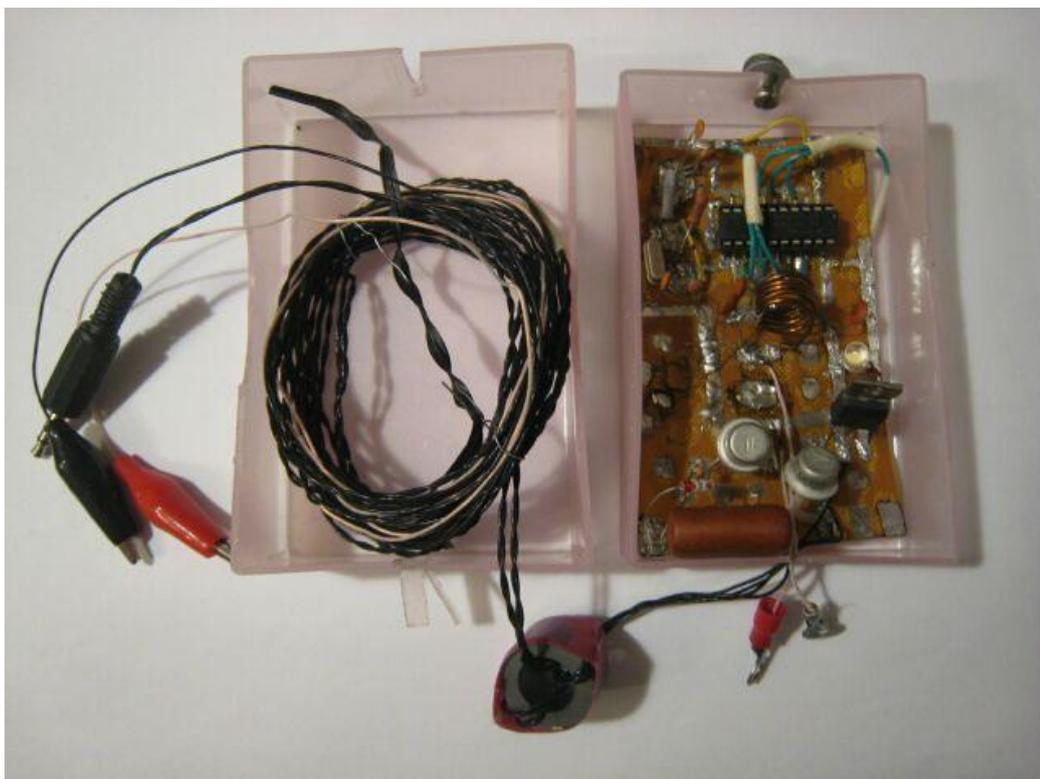


Рис. 1.3.7. Внешний вид передатчика для маяка

Плата нарисована лаком на куске фольгированного текстолита размером 56 мм x 88 мм. Применена микросхема 74НС240 в DIP исполнении. НЧ-кабели пропущены через ферритовое кольцо для блокировки ВЧ. Применен однозвенный ФНЧ.

Комплект маяка представлен на рис. 1.3.8. Он состоит из аудиоплеера, передатчика, лучей диполя, кассет аккумуляторов типа АА.



Рис. 1.3.8. Внешний вид маяка с ключеванием от аудиоплеера

Представленная схема маяка может быть повторена начинающими радиолюбителями, без освоения микроконтроллерной техники, используя доступные компоненты и материалы.

Контролировать работу такого маячка, можно с помощью сети <http://reversebeacon.net/> «RBN». Для запроса информации о регистрации спотов маяка выбираем `dx spots>spot search>dx` и ввести в поле позывной маяка, например «R2AJA/B».

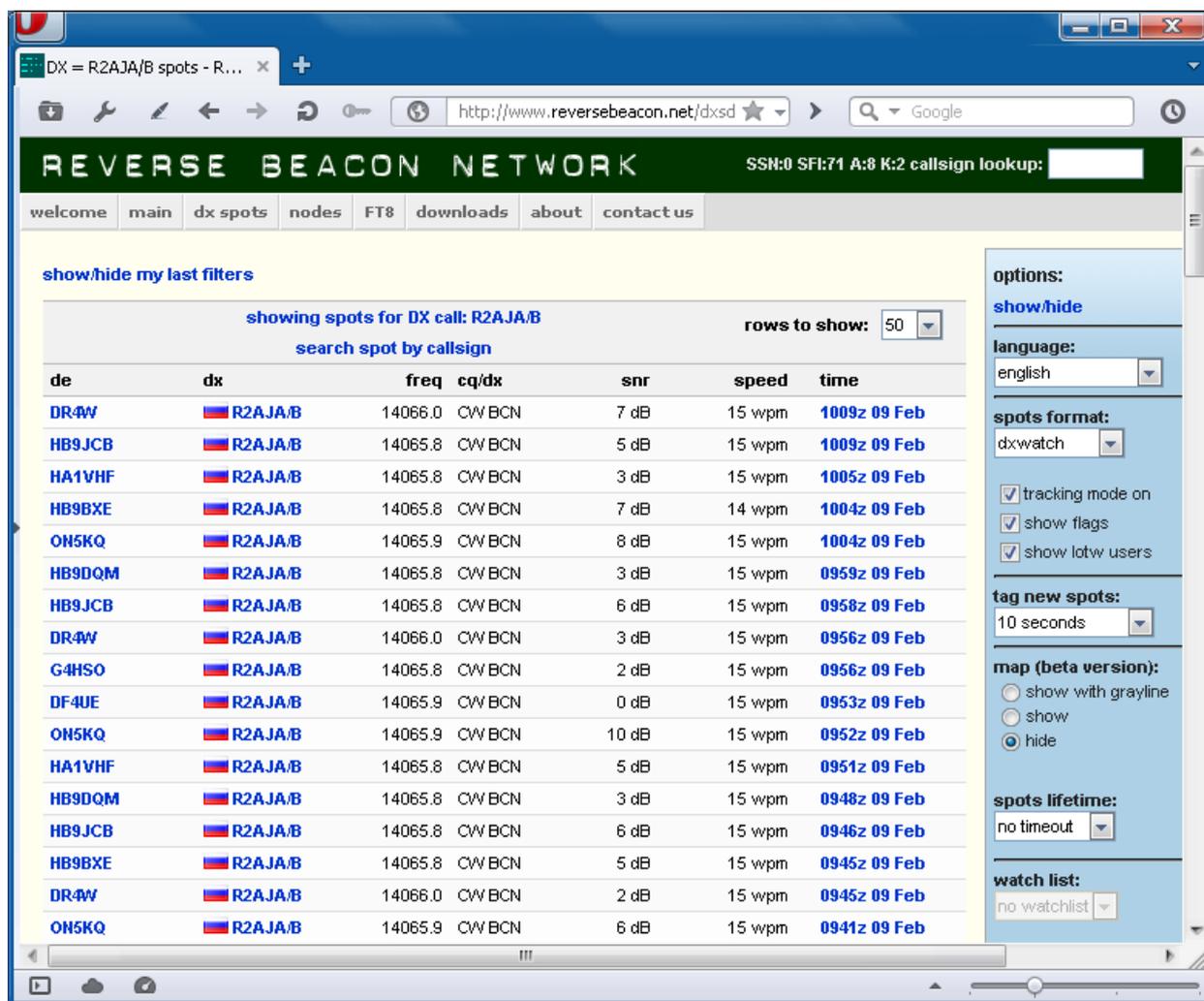


Рис. 1.3.9. Сайт <http://reversebeacon.net/>

Второй интересный инструмент, базирующийся на основе «RBN» – анализ диапазонов в графическом виде доступный по адресу: https://dxcluster.ha8tk.com/rbn_ct1boh/. Анализируется заданный диапазон на интервале 15 минут. Чем выше показан спот, тем раньше он был зарегистрирован см. рис. 1.3.10.

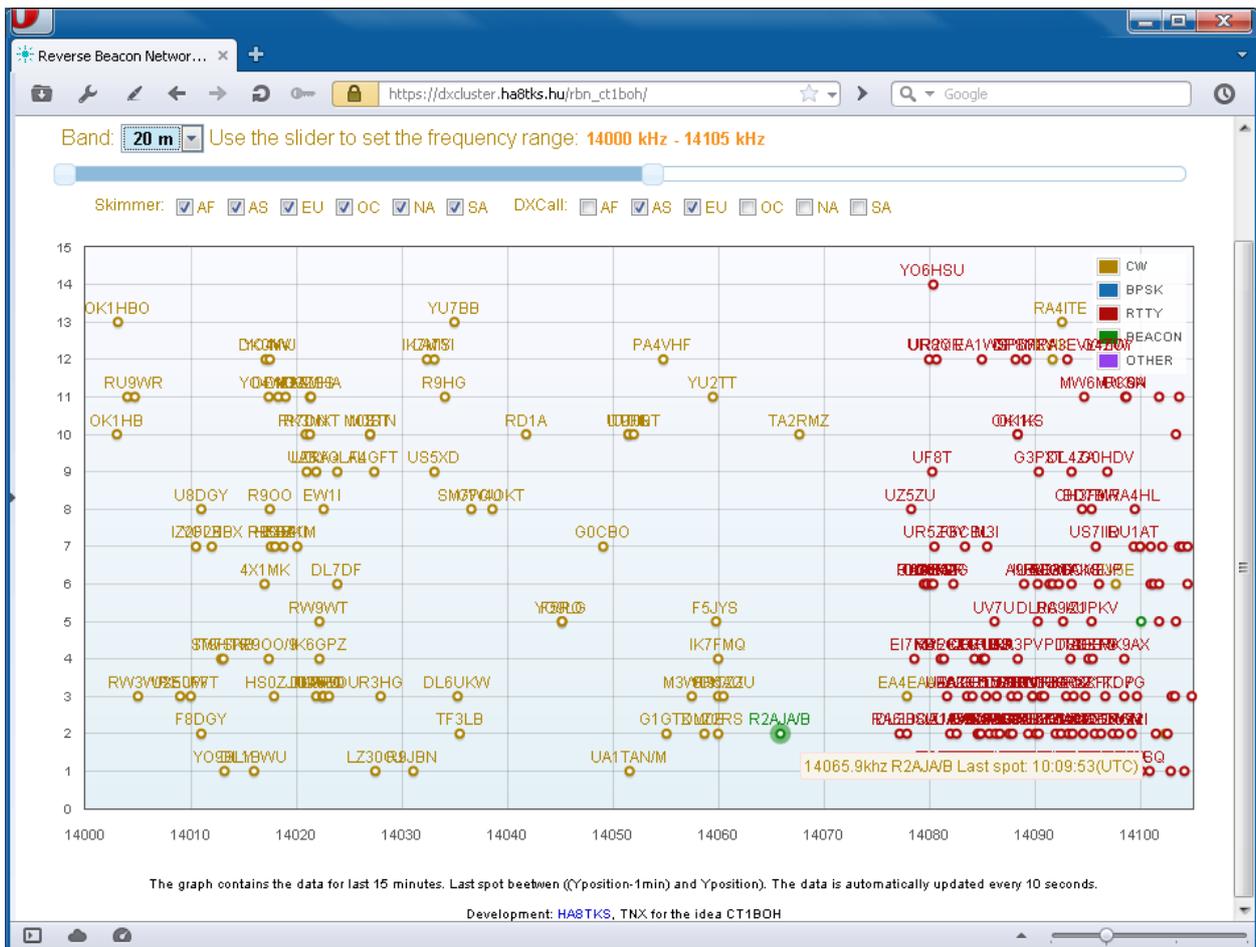


Рис. 1.3.10. Анализ диапазонов (показан диапазон 20 метров)

Сигналы разных модуляций отмечены разными цветами. Маяки отмечены зелёным цветом.

Третий инструмент – долгосрочный анализ. Показывает активность указанного позывного за день, год, месяц. Разными цветами показана статистика по часам и диапазонам. Пример запроса по позывному R2AJA/B такой: <https://foc.dj1yfk.de/activity/R2AJA/B> Результат запроса показан на рис. 1.3.11.

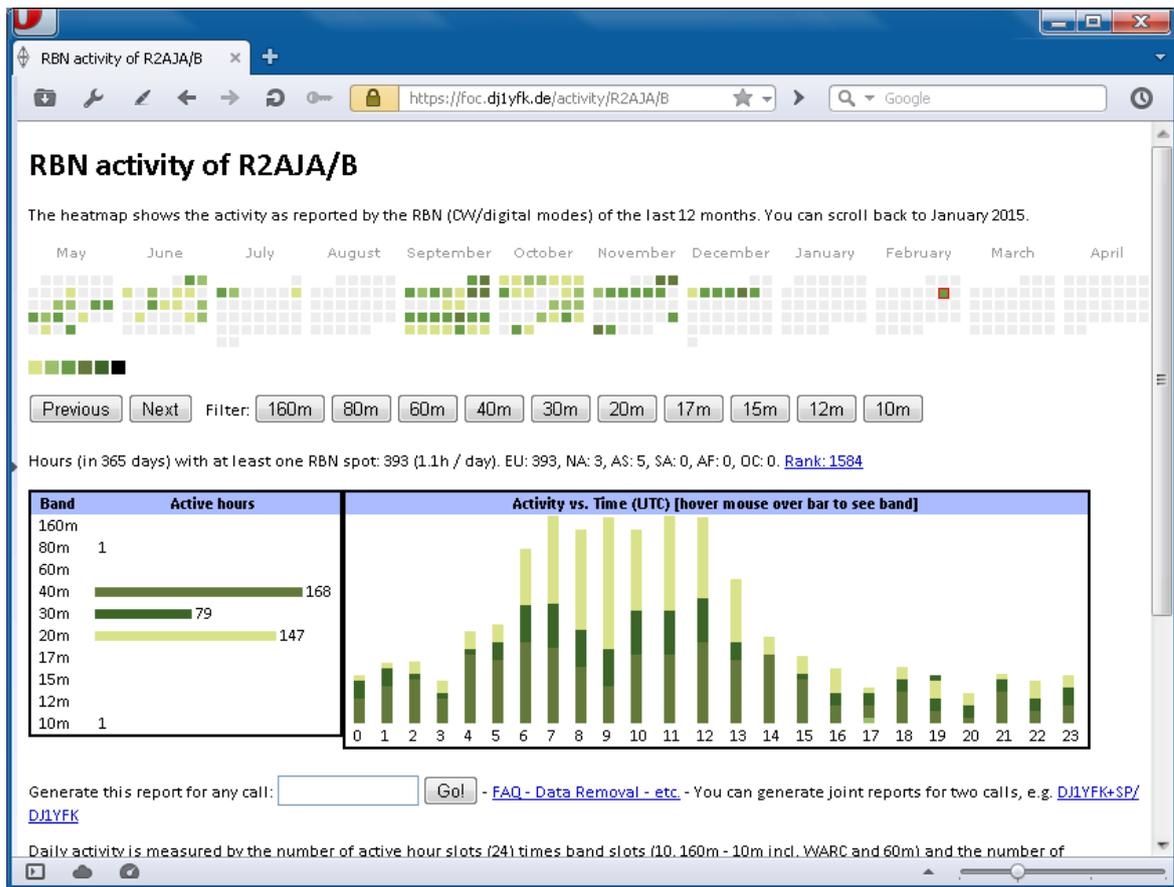


Рис. 1.3.11. Долговременный анализ спотов

Дополнительная информация:

[1] Лавриненков И.С. «CW QRP маяк диапазона 17 метров» Электронный журнал CQ-QRP #51 (Лето 2015)

[2] «QRPP CW Маяк 18 МГц (17 м) с воспроизведением сигнала с Audio CD» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2015/11/qrpp-cw-18-17-audio-cd.html>

[3] Лавриненков И.С. «О формате Feld-Hell» Электронный журнал CQ-QRP #62 (Весна 2018)

1.4 Радиололюбительский маяк с двухтактным услителем мощности [CW/OOK]

Во многих случаях мощности одной микросхемы 74НС240 может не хватать для уверенной передачи сигналов маяка. Попробуем теперь построить модель маяка с двухтактным услителем мощности. Для формирования CW – последовательности применим микроконтроллер Ардуино (Arduino). Блок-схема маяка представлена на рис.1.4.1.

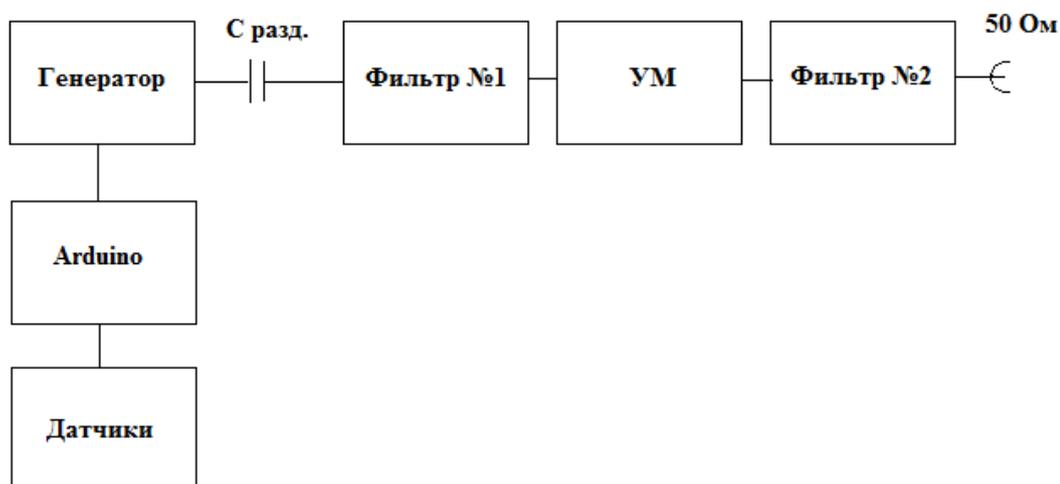


Рис. 1.4.1. Блок – схема маяка с двухтактным услителем мощности

Высокочастотная часть состоит из генератора на 74НС240, запитанного через стабилизатор на +6 В (тип КР142ЕН5Б), ФНЧ1, Двухтактного усилителя мощности, ФНЧ2.

Генератор на 74НС240 уже был описан в разделе «Коротковолновый генератор на 74НС240 по схеме N7KSB» поэтому сразу перейдем дальше к фильтру низких частот ФНЧ1 см. рис. 1.4.2.

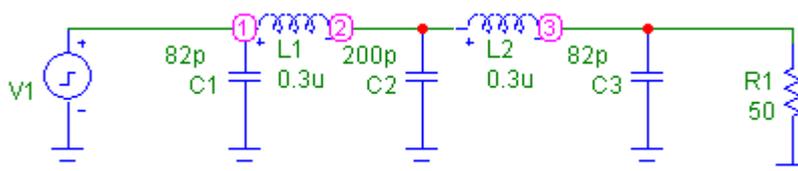


Рис. 1.4.2. ФНЧ1

В данном случае применена более сложная цепочка элементов, состоящая из двух индуктивностей и трёх ёмкостей. Данный фильтр немного лучше подавляет высшие гармоники, чем однозвенный П-фильтр. Примерные номиналы для фильтра, позволяющего работать на всех коротковолновых диапазонах (частота до 28.1 МГц). Индуктивности L1, L2 по 0.3 мкГн, ёмкости C1, C3 по 82 пФ и C2 около 200 пФ. Подавление второй гармоники для частоты 28.2 МГц около 20 дБ. Подавление второй гармоники для частоты 18.1 МГц совсем небольшое, поэтому если требуется, номиналы фильтра можно пересчитать в программе «RFSim99» (для 18.1 МГц у меня получились индуктивности L1, L2 по 0.5 мкГн, ёмкости C1, C3 по 200 пФ и C2 около 400 пФ.), либо применить однозвенный фильтр описанный в разделе «Коротковолновый генератор на 74НС240 по схеме N7KSB».

Усилитель мощности проектируем по варианту расчета, предложенному SM0VPO.[1]. Схема двухтактного усилителя мощности показана на рис. 1.4.3.

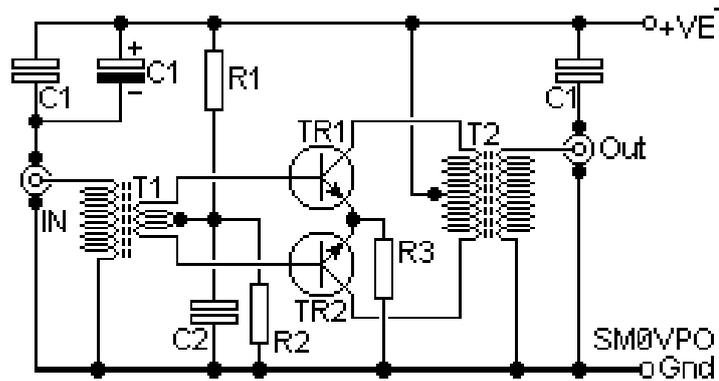


Рис. 1.4.3. Схема двухтактного усилителя мощности

Номиналы элементов, показанных на схеме:

$C1=100 \text{ мкФ} + 33 \text{ нФ} + 15 \text{ нФ}$

$C2=22 \text{ нФ}$

$R1=1 \text{ кОм}$

$R2=30 \text{ Ом}$

$R3 = 1.2 \text{ Ом}$

Транзисторы TR1, TR2 высокочастотные, например, 2SC2344 с $h_{21э} = 60$

На транзисторы должны быть установлены радиаторы охлаждения. Допустимы и другие типы транзисторов, желательно применять транзисторы с рабочей граничной частотой не менее 30 МГц, и близкими по значению коэффициентами $h_{21э}$.

Трансформаторы T1 и T2 выполняются на сердечниках биноклях (трансфлюкторах) М30ВН, 16 мм x 9 мм x 7 мм. Входная обмотка T1 содержит 8 витков, выходная обмотка содержит 1+1 виток. Входная обмотка T2 содержит 2+2 витка, выходная обмотка содержит 8 витков. Задача данных трансформаторов согласовать входные и выходные цепи транзисторов, а также для реализации двухтактного режима работы усилителя.

Выход усилителя мощности подключается к ФНЧ2, построенному по схеме ФНЧ1 или по схеме П-фильтра под необходимую частоту.

Платы для данного маяка желательно изготовить по ЛУТ. Примерный вид плат генератора, фильтра и усилителя показан на рис. 1.4.4. Для подготовки изображений использована программа «Sprint-Layout б».

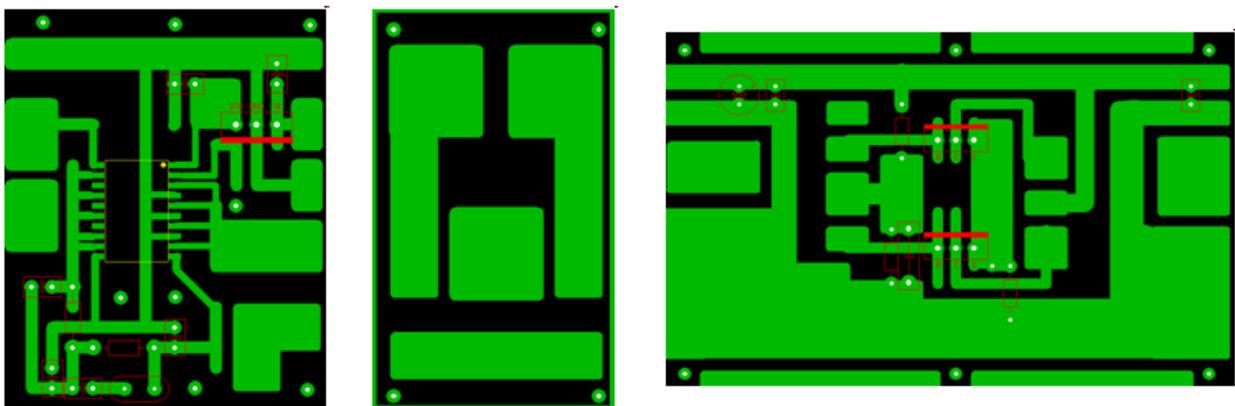


Рис. 1.4.4. Платы генератора, фильтра и усилителя

Питание усилителя и генератора применяется общее, от 10 до 15 В. С ростом напряжения питания КПД снижается [3].

Спектр выходного сигнала показан на рис. 1.4.5. Величины сняты через аттенюатор 10 дБ, поэтому истинные значения больше показанных на 10 дБ.

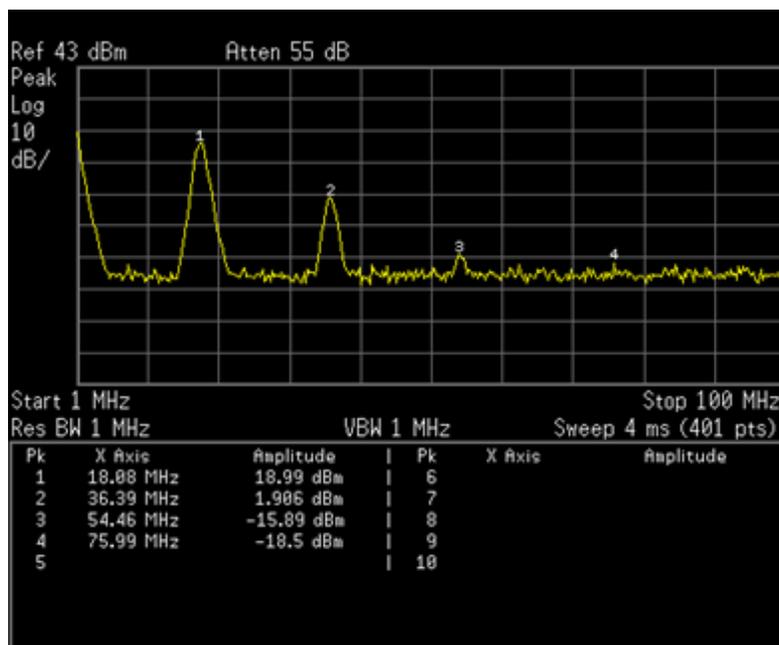


Рис. 1.4.5. Спектр выходного сигнала маяка

Ослабление второй гармоники 17 дБ, третьей гармоники 35 дБ. Выходная мощность около 0.8 Вт (на 18 МГц). КПД маяка около 17% при питании 12 В. Маяк перенастроенный на 14 МГц, показал мощность около 1.2 Вт, а на 28 МГц около 200 мВт. Выходная мощность снижается с ростом рабочей частоты которая может быть у данного маяка от 10 до 28 МГц.

Перейдем теперь к рассмотрению низкочастотной части данного маяка. Микроконтроллер Ардуино собирает данные от подключенных датчиков, формирует текст CW-сообщения и выдает его телеграфом в передатчик на 74НС240.

Существует несколько вариантов контроллера по типу компоновки и корпуса: Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Pro Mini и т.д. По напряжению питания: на 5 В, на 3.3 В. По объему памяти: Atmega168, Atmega324. Тактовая частота 8/16 МГц. В особенностях работы всех этих вариантов желательно изучить специализированную литературу. Для наших же задач достаточно правильно подключить микроконтроллер, заложить код маяка (прошивку или скетч) в память и настроить текст передаваемого сообщения.

На рис. 1.4.6 показан пример подключения Ардуино Nano к генератору на 74НС240.

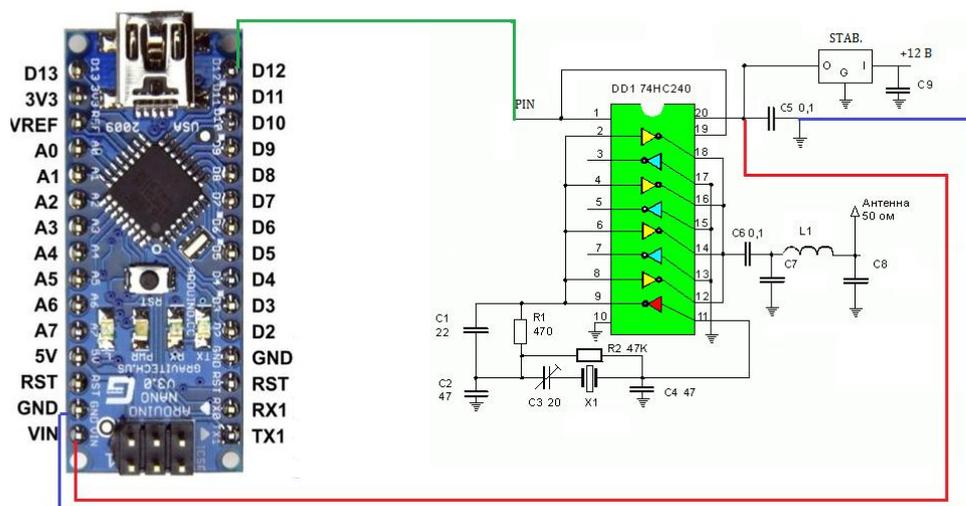


Рис. 1.4.6. Подключение Ардуино Nano к генератору на 74НС240

Контакт D12 Arduino подключается к контакту «1» или «PIN» генератора;
 Контакт GND Arduino подключается к контакту «Земля» «GND» источника ;
 Контакт VIN Arduino подключается к контакту к выходу (Output) стабилизатора;
 В данном варианте микроконтроллер получает питание от микросхемы стабилизатора, однако возможны и другие варианты подключения питания.

Для работы с микроконтроллером Ардуино необходимо установить драйвер микросхемы CH340. После подключения Ардуино к USB-порту он определится как свободный COM-порт. Далее необходимо скачать и установить программу «Arduino IDE», желательно версии 1.6.7.

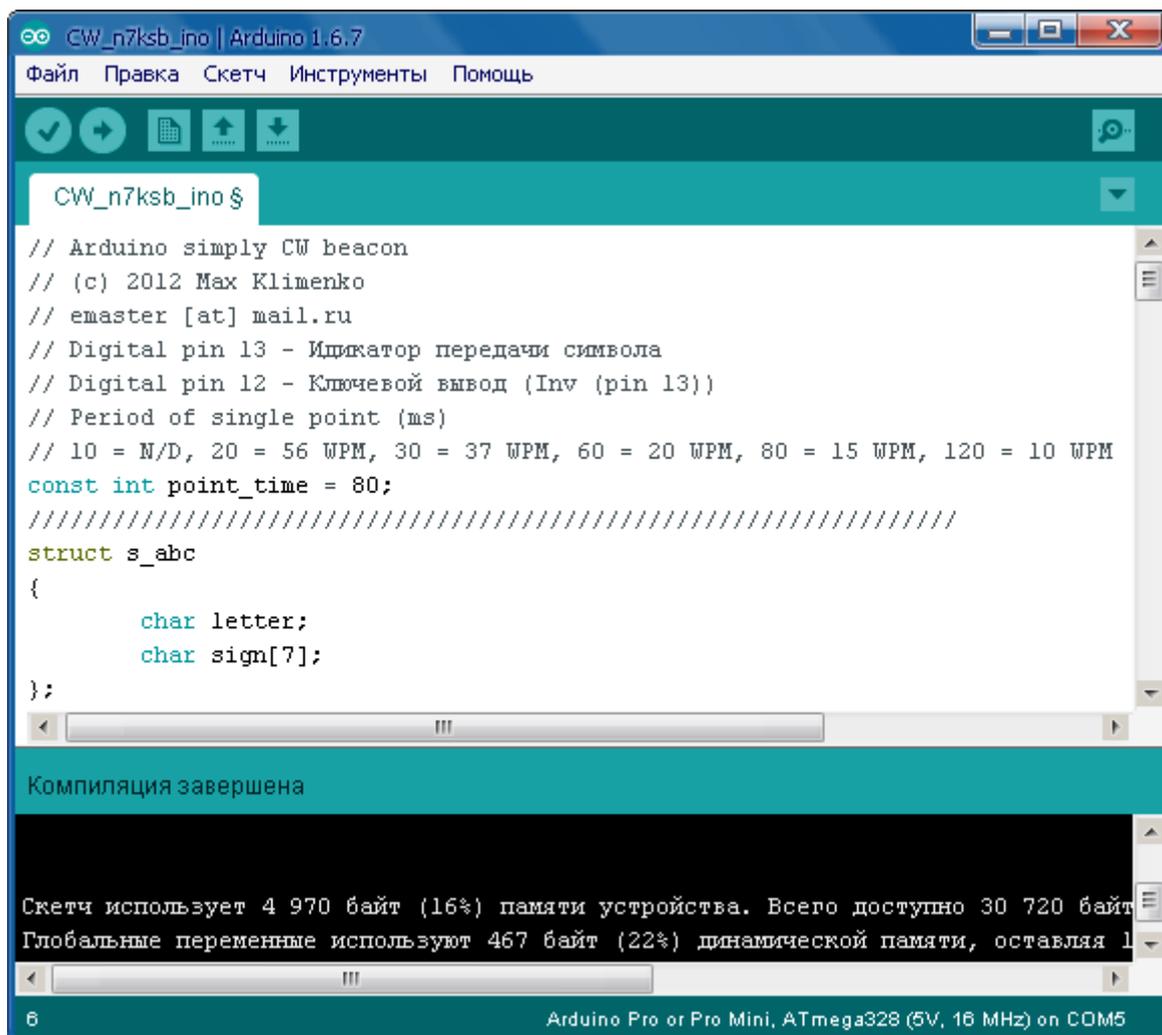


Рис. 1.4.7. Среда разработки «Arduino IDE v.1.6.7»

Порядок работы с программой «Arduino IDE» показан в табл. 1.4.1.

Таблица 1.4.1. Порядок работы с «Arduino IDE»

№	Действие
01	Отключить микроконтроллер от платы генератора и подключить к программатору (Arduino Pro Mini) или кабелем mini-usb (Arduino nano) к компьютеру.
02	Запустить программу «Arduino IDE» и выбрать COM порт, под которым определился Ардуино.
03	Открыть предлагаемый скетч и произвести коррекцию нужных строк. (Скетч должен иметь одинаковое название с папкой в которой он расположен)

№	Действие
04	Строка <code>const int point_time = «X»</code> служит для коррекции скорости передачи сообщения. Где «X» может быть 20 = 56 WPM, 30 = 37 WPM, 60 = 20 WPM, 80 = 15 WPM, 120 = 10 WPM
05	Строка <code>strMsg = "VVV DE"</code> содержит в себе посылаемое сообщение
06	Строка <code>delay(10000);</code> Содержит время паузу между сообщениями (в мс)
07	После коррекции кода, выбрать «Сервис>Плата>Arduino Nano (Pro Mini), «Сервис>Плата>Процессор 328, 5 В» и далее для загрузки нажать «Файл>Загрузить»
08	Во время загрузки появляется надпись «Загружаем», нажать кнопку «Reset» на микроконтроллере. (только микроконтроллера Pro Mini).
09	После удачной загрузки появляется надпись «Загружено»
10	Маяк начинает работать с введенными изменениями параметров.

Текст прошивки маяка показан в Приложении А. За основу взят материал [5] Максима Клименко, «CW-маячок на СВ-КВ диапазон из Arduino»

Генерацию включает команда `digitalWrite(12, LOW)`, а отключает `digitalWrite(12, HIGH)`.

Текст прошивки разбит на три части: начальные данные и алфавит, процедура отправки буквы, циклическая процедура с текстом маяка.

Настраиваемые в скетче параметры: скорость передачи сообщений, пауза между передачами и текст передачи выделены жирным.

После загрузки прошивки в микроконтроллер «Arduino IDE» сообщает в статусной строке, что процесс загрузки выполнен успешно. Теперь можно подключить микроконтроллер к генератору, и проверить маяк в действии. Еще раз напомним, что транзисторы обязательно нужно использовать с радиаторами. Стабилизатор КР142ЕН5Б для надежности рассеивания тепла тоже неплохо оснастить радиатором.

На выход усилителя мощности должна быть подключена согласованная антенна или эквивалент нагрузки, резистор с сопротивлением 50 Ом на мощность не менее 2 Вт.

В процессе передачи сигналов резистор будет нагреваться, что также является признаком работоспособности маяка.

Для передачи сообщения в формате «Hellschreiber» (Feld Hell) следует использовать другой вариант прошивки, предложенный Mark VandeWettering [6] Текст представлен в Приложении Б. Прошивка нормально проходит компиляцию в «Arduino IDE» версии 1.5.

Жирным показана строчка с передаваемым сообщением. Сообщение кодируется точками, частота передачи которых регламентирована и не должна изменяться. Подробнее о принципах кодирования Hellschreiber можно прочитать в [7]. Подключение Ардуино к передатчику аналогичное, управляющий вывод «12».

Пример собранного маяка показан на рис. 1.4.8.

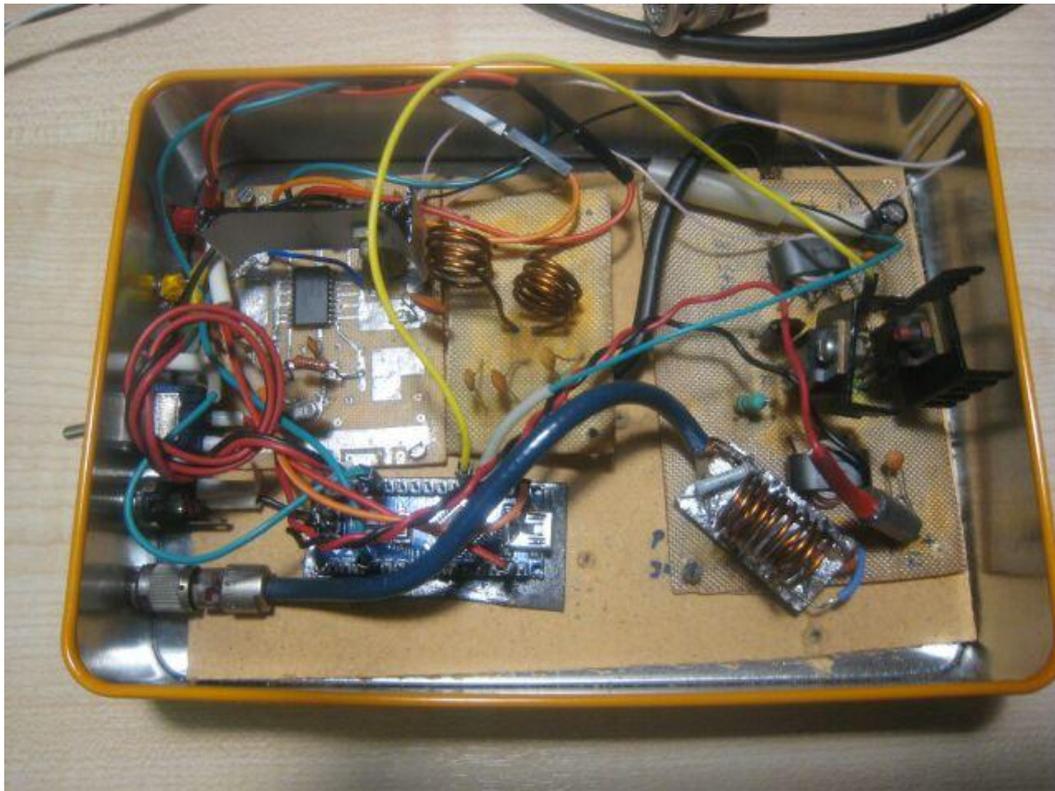


Рис. 1.4.8. Внешний вид собранного маяка



Рис. 1.4.9. Передняя панель собранного маяка

Дополнительная информация:

- [1] Harry Lythall, SM0VPO, «BASIC LINEAR AMPLIFIER.»
http://sm0vpo.altervista.org/tx/rf_pa_cct_00.htm
- [2] «Широкополосный КВ усилитель мощности»,
<http://radiomaster.ru/articles/view/63/>
- [3] «QRPP CW Маяк 18 МГц (17 м) с ключеванием от Arduino»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2015/11/grpp-cw-18-17-arduino-n7ksb-arduino.html>
- [4] «Простые схемы генерации CW от R2AJA (Лабораторная работа)»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2016/11/cw-r2aja.html>
- [5] «CW маячок на СВ-КВ диапазон из Arduino»
<https://max-ter.livejournal.com/571.html> <http://pastebin.com/46yPSy28>
- [6] Mark VandeWettering, Hellschreiber Arduino coder
<https://brainwagon.org/2012/01/11/hellduino-sending-hellschreiber-from-an-arduino/>

[7] Лавриненков И.С. «О формате Feld-Hell» Электронный журнал CQ-QRP #62 (Весна 2018)

[8] Александр Яшук, R5AM, "Усилители мощности высоких частот" https://www.r5am.ru/content/Radio/translations/RF_Power_Amplifiers/RF_Power_Amplifiers.html

1.5 Радилюбительский маяк с усилителем на BS170 [CW/OOK]

Рассмотрим в данной главе вариант маяка с более простым усилителем, который будет состоять из одного каскада, на одном n-канальном полевом транзисторе BS170. Структурная схема маяка соответствует схеме из предыдущей главы, рис. 1.4.1. ФНЧ1 и ФНЧ2 выбираются соответственно выбранному диапазону. А схема соединений функциональных блоков будет отличаться, см. рис. 1.5.1.

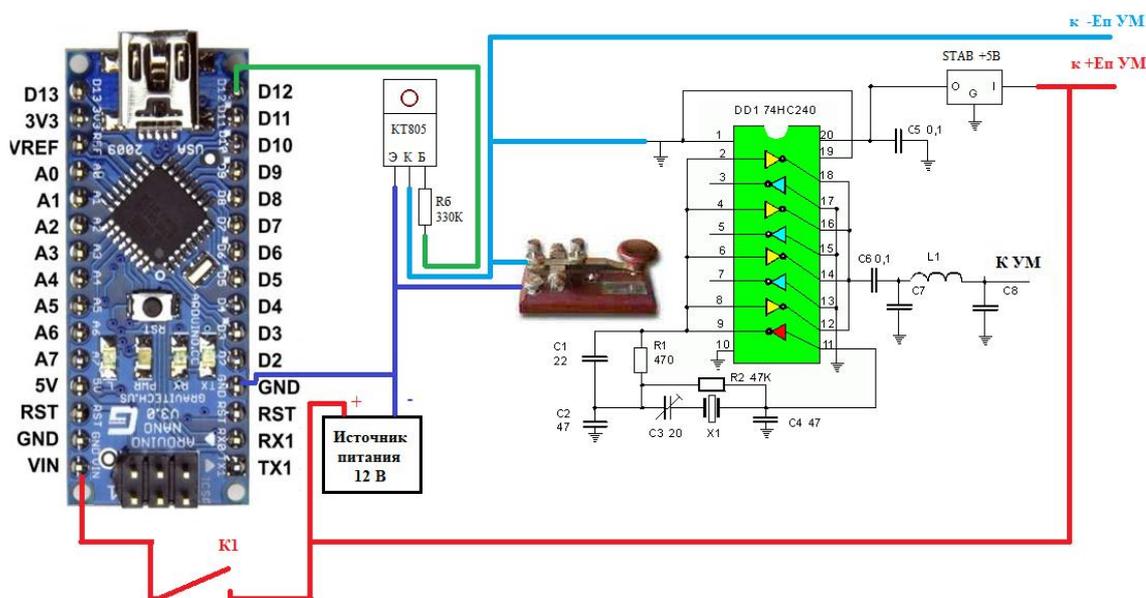


Рис. 1.5.1. Схема соединений функциональных узлов маяка

В данной схеме реализована возможность ручной работы с передатчиком с помощью ключа, так и работа от микроконтроллера. Обратим внимание на то, что для включения Ардуино используется коммутация по плюсу, выключателем K1, а для включения генератора с усилителем мощности (УМ) используется ручной CW-ключ, или транзистор типа KT805, которые коммутируют минус источника. Следовательно, «земли» микроконтроллера и высокочастотной части в данной конструкции объединять нельзя.

Вместо KT805 может подойти любой транзистор n-p-n структуры рассчитанный на мощность не менее 15 Вт или с постоянным током коллектора не менее 2А. Использование радиатора – опционально. Чем более мощный транзистор вы примените, тем проще его будет охлаждать. С приведенным в данном описании KT805 радиатор можно не устанавливать. Резистор в цепи базы транзистора можно выбрать от 220 до 330 кОм. Силовой транзистор управляется с пина «12» микроконтроллера положительными импульсами.

Работа с микроконтроллером выполняется по методике, описанной в табл. 1.4.1 предыдущего раздела книги. Для работы с данным маяком можно использовать те же прошивки, что приведены в Приложении А (CW) и Приложении Б (Feld Hell проверено в «Arduino IDE» 1.5), изменив полярность управляющего воздействия.

Поэтому везде, где должна включаться генерация указываем команду `digitalWrite(12, HIGH)`, а для отключения `digitalWrite(12, LOW)`.

Принципиальная схема усилителя мощности (УМ) на BS170 показана на рис 1.5.2

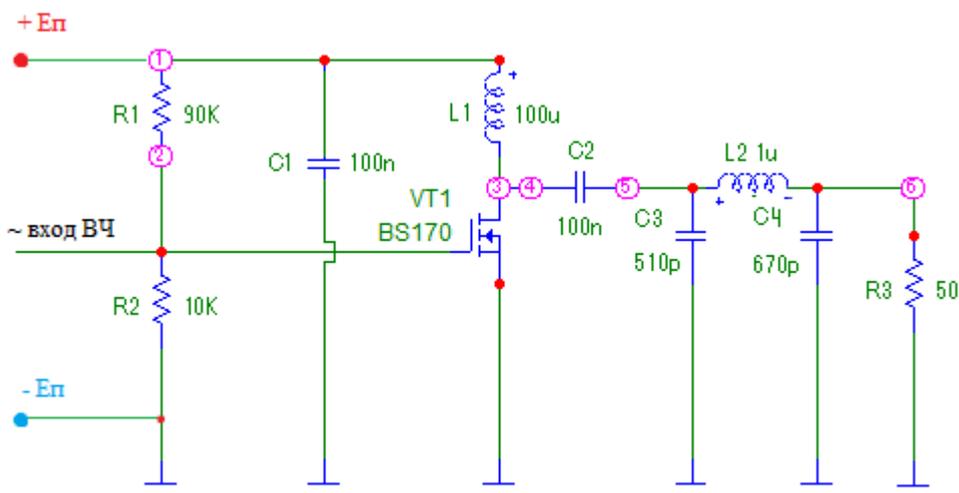


Рис. 1.5.2. Принципиальная схема УМ на BS170 с ФНЧ

Вместо пары резисторов R1, R2 обычно применяют построечный резистор для настройки рабочей точки транзистора. Дроссель L1 блокирует прохождение высокой частоты на цепь питания. C1 занимается той же задачей – это блокировочная ёмкость, C2 – разделительная ёмкость. Выходной ФНЧ строится на элементах C3, L2, C4. Указанные на схеме номиналы фильтра подобраны для частоты 7 МГц. Для других диапазонов можно использовать номиналы элементов, указанные в таблице 1.2.2. Указанные номиналы – примерные. Точный подбор следует выполнять по показаниям приборов.

Настройку усилителя следует проводить, подключив его к согласованной антенне, измерителю мощности или эквиваленту нагрузки – резистору 50 Ом на мощность 4 Вт. На BS170 должен быть установлен радиатор в виде пластины из алюминия или меди. Можно прижать пластину, например, «крокодилом».

Выходную мощность следует контролировать осциллографом на эквиваленте нагрузки или хотя бы оценивать по датчику поля (см. глава 3, раздел 3.1).

Делитель R1/R2 переводится в такое положение, когда R2 минимально, R1 максимально. Генератор на 74НС240 переводится в режим постоянной генерации с помощью ключа. Для питания 74НС240 следует использовать стабилизатор на +5 В, чтобы избежать перегрузки УМ. Постепенно увеличиваем сопротивление R2 и уменьшаем R1. (Для переменного резистора на 100 кОм R1 и R2 связаны соотношением $R1=100 - R2$)

Напряжение на затворе транзистора растет, и он начинает усиливать подаваемый на него ВЧ-сигнал. Это должно быть видно по измерителю мощности, осциллографу или датчику поля. В табл. 1.5.1 показано, как изменяются параметры усилителя, при изменении R2/R1, и соответственно, напряжения на затворе. Можно считать хорошим результатом усиление на 10 дБ (в 10 раз). В таблице учтена выходная мощность генератора на 74НС240 - 85 мВт и потребляемая мощность - 300 мВт.

Таблица 1.5.1. Зависимость параметров усилителя от напряжения на затворе BS170

R2, кОм	Uз, В	Rвых., Вт	Ky, дБ	Uп, В	Iп, А	Rпотр, Вт	КПД, %
0.04	0.01	0.001	-19.2	12.1	0.03	0.363	0.2
2.8	1.15	1.5	12.4	11.2	0.4	4.48	33.5
5	1.18	1.55	12.6	11	0.44	4.84	32.0
10	1.62	1.95	13.6	11.4	0.46	5.244	37.2
15	2.6	2.25	14.2	11.3	0.5	5.65	39.8
19.8	3	2.4	14.5	11.3	0.53	5.989	40.1
24.5	3	2.5	14.6	11.6	0.53	6.148	40.6
30	3.5	2.5	14.6	11.6	0.55	6.38	39.2
35.2	4.16	2.6	14.8	11.5	0.58	6.67	38.9
40.5	4.65	2.6	14.8	11.2	0.6	6.72	38.7
45	5	2.6	14.8	11.3	0.62	7.006	37.1
63	6.78	2.5	14.6	10.2	0.84	8.568	29.2
77	7.9	2.1	13.9	10.1	0.9	9.09	23.1
90	8.7	0.05	-2.3	12.1	0.78	9.438	0.5

Для наглядности зависимости КПД в %, и усиления в дБ от напряжения на затворе транзистора U_з в В показаны на рис. 1.5.3.

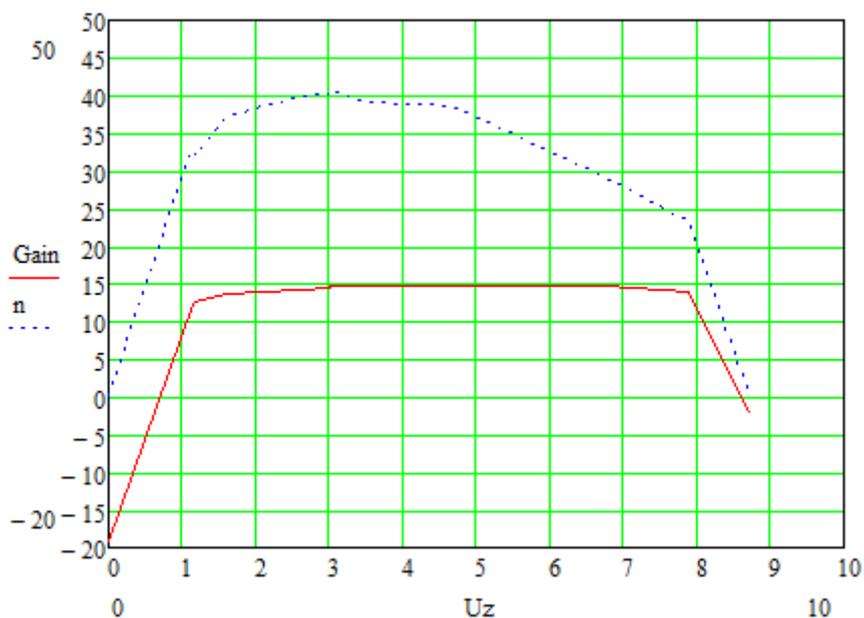


Рис. 1.5.3. Зависимости КПД и Усиления от U_з

Можно считать рабочим участком напряжение на затворе транзистора от 1.5 В до 3 В, дальнейшее увеличение напряжения на затворе приведет к снижению КПД, при неизменной величине усиления.

Неосторожное увеличение напряжения на затворе транзистора может привести к его пробую, поэтому последовательно с R1 можно установить для подстраховки от случайного поворота ручки резистора-делителя постоянный резистор, например, на 50 кОм, естественно в таком случае номиналы R1/R2 будут отличаться от указанных на схеме.

Спектр выходного сигнала настроенного усилителя представлен на рис. 1.5.4.

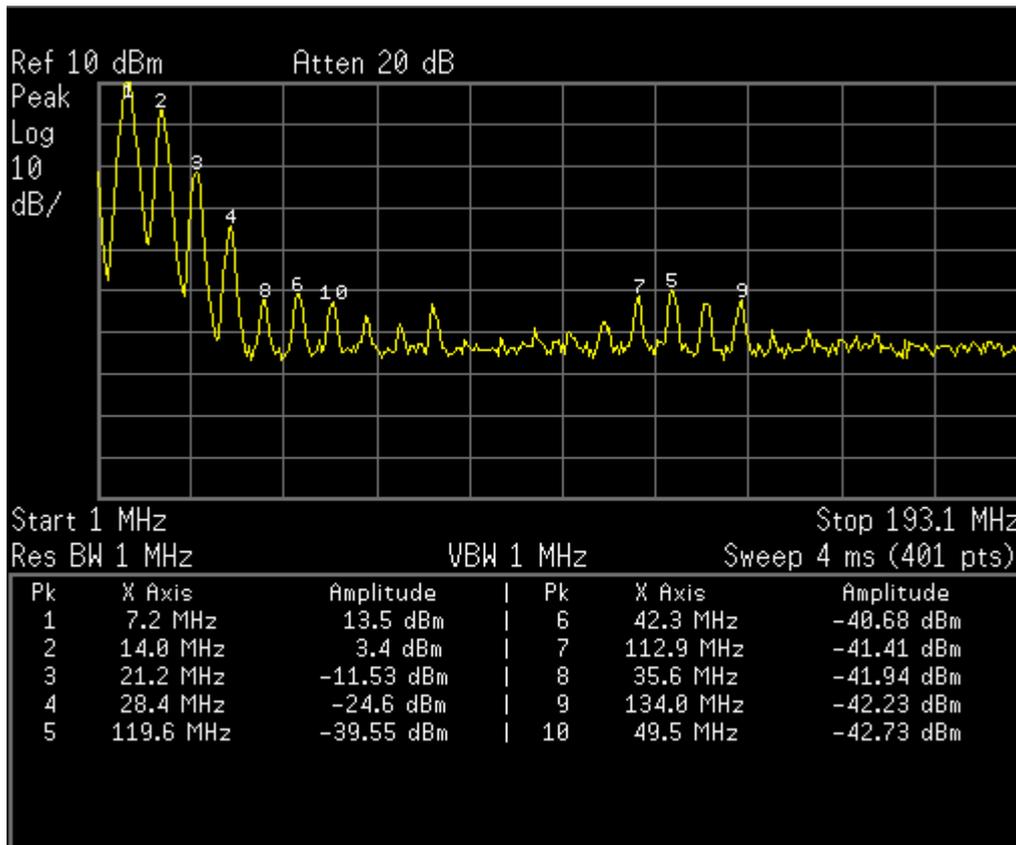


Рис. 1.5.4. Спектр выходного сигнала

Показана спектрограмма при дополнительном ослаблении 20 дБ. т.е. ко всем значениям нужно добавлять 20 дБ. Основная гармоника 33.5 дБ, т.е. около 2.2 Вт, вторая гармоника 23.4 дБм, т.е. около 218 мВт, что многовато. Следует подобрать ФНЧ с лучшими характеристиками подавления, либо использовать такой маячок как двухдиапазонный при соответствующей антенне. Удвоенная частота 7 МГц, попадает в радиолюбительский диапазон 20М. Рассмотренный маяк с указанными номиналами элементов стабильно запускается на частотах от 3.5 МГц до 10 МГц.

На следующих иллюстрациях показаны узлы маяка.

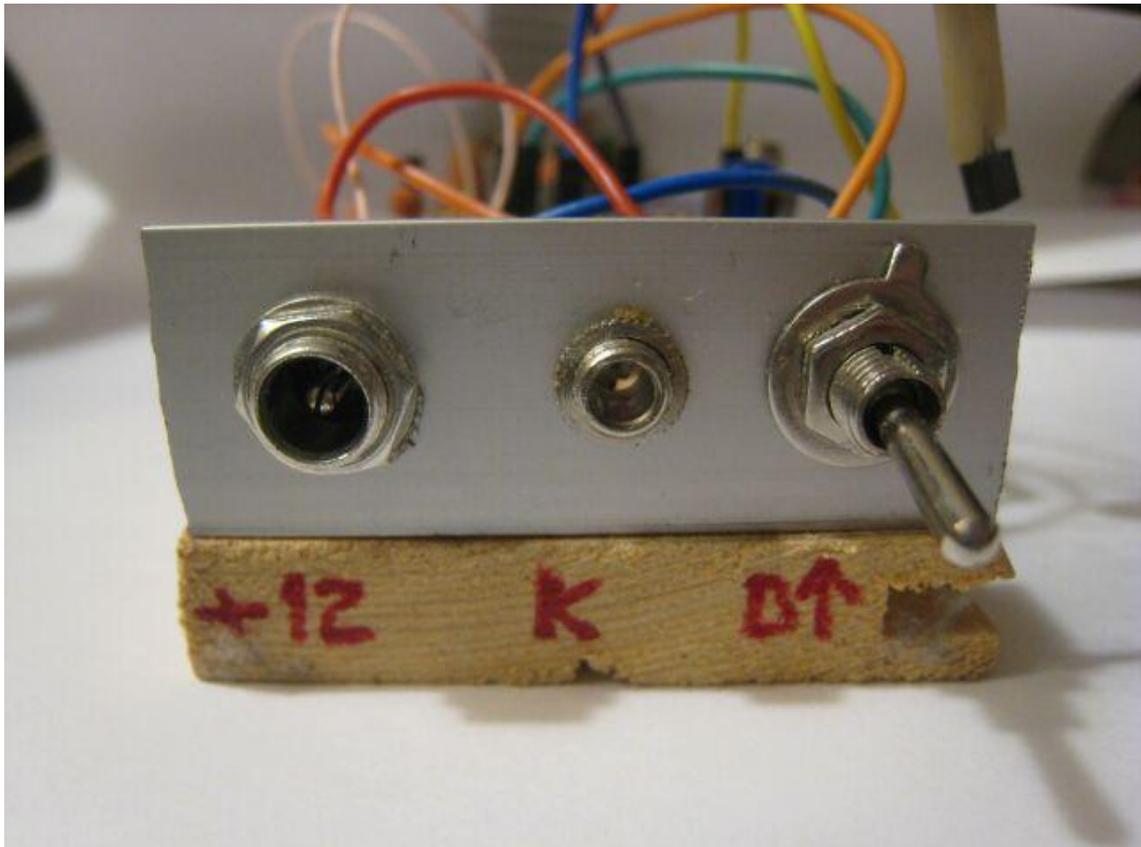


Рис. 1.5.5. Передняя панель маяка. Показаны: разъем питания, разъем ключа, выключатель микроконтроллера

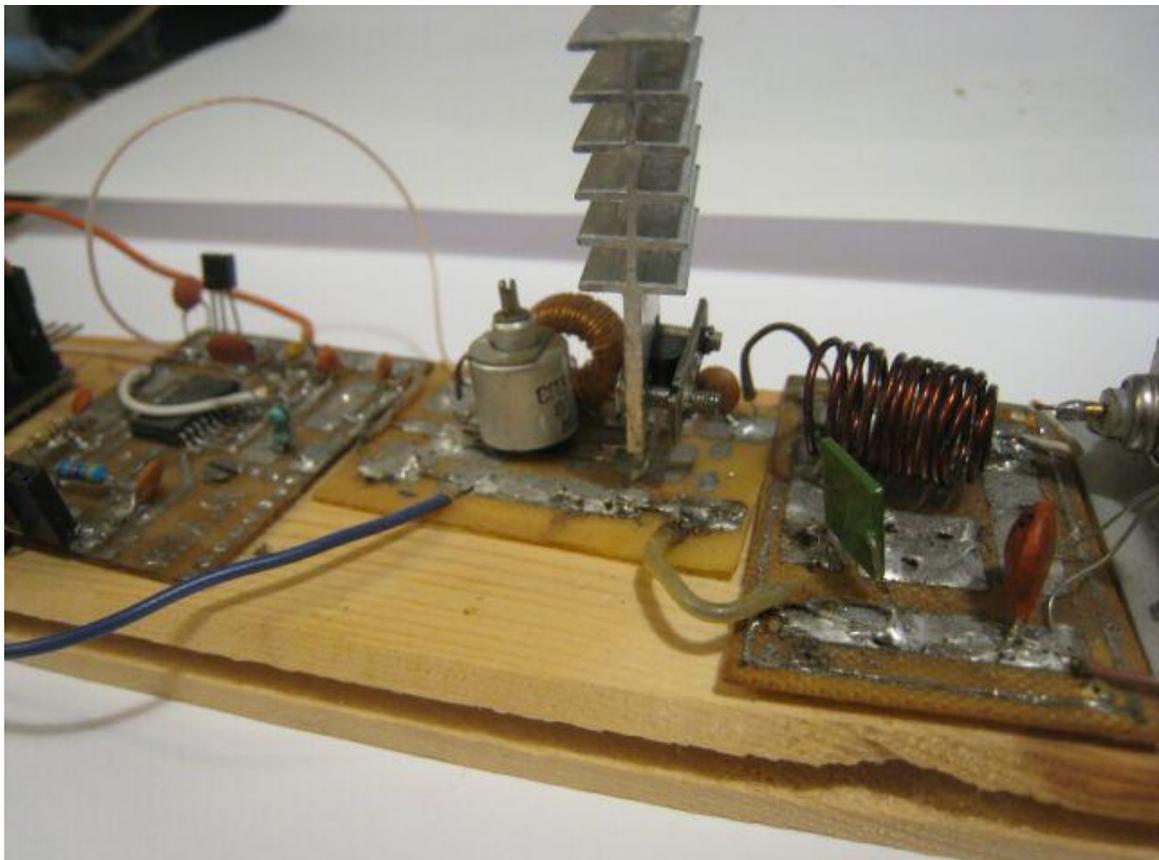


Рис. 1.5.6. Вариант крепления радиатора к BS170

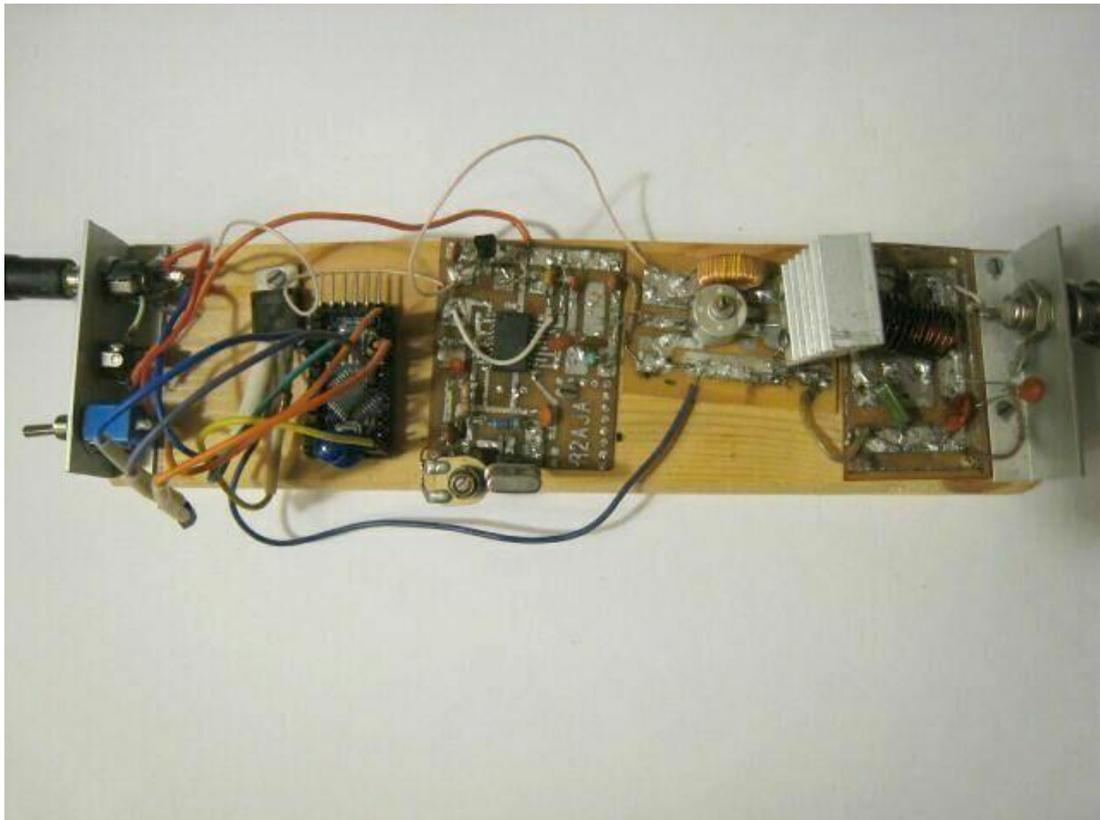


Рис. 1.5.7. Внешний вид маяка

Дополнительная информация:

[1] «Простые схемы генерации CW от R2AJA (Лабораторная работа)»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2016/11/cw-r2aja.html>

[2] «CW маячок на СВ-КВ диапазон из Arduino»

<https://max-ter.livejournal.com/571.html> <http://pastebin.com/46yPSy28>

[3] Mark VandeWettering, «Hellschreiber Arduino coder»

<https://brainwagon.org/2012/01/11/hellduino-sending-hellschreiber-from-an-arduino/>

[4] Лавриненков И.С. «О формате Feld-Hell» Электронный журнал CQ-QRP #62 (Весна 2018)

1.6 Радилюбительский маяк на SI5351 с усилителем на BS170 [WSPR/FSK]

До сих пор мы рассматривали генераторы и маяки, работающие с манипуляцией непрерывного сигнала (CW). Однако существуют и другие, более эффективные способы передачи сигнала см. рис. 1.6.1.

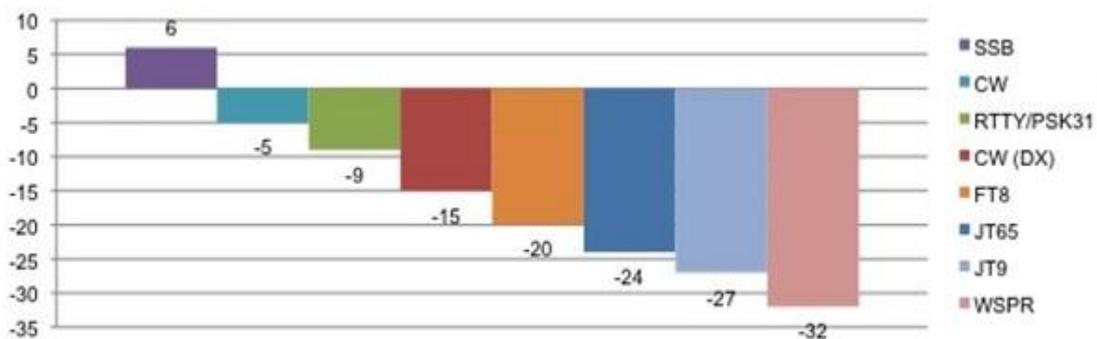


Рис. 1.6.1. Сравнение помехоустойчивости различных видов модуляции [1]

Здесь для сравнения показаны соотношения сигнал/шум (SNR) для полосы 2500 Гц, для разных модуляций. CW (DX) – уровень, который доступен для приёма лучшими операторами или автоматическими устройствами по дешифровке CW. По гистограмме мы видим, что более помехоустойчивые способы передачи чем телеграф – FT8, JT65, JT9 и WSPR. Мы рассмотрим здесь модуляцию WSPR (weak signal propagation report), также иногда именуемой «whisper», что означает шёпот.

Особенности протокола WSPR2:

- Стандартное сообщение (Формат №1) содержит в себе позывной + четырёхзначный локатор + мощность в dBm.

Пример: **R2AJA KO85 20;**

- Сообщения, которые должны содержать в себе более длинный позывной или шестизначный локатор могут быть переданы за две передачи.

Примеры:

R2AJA/1 20; - сообщение с длинным позывным. (Формат №2)

<R2AJA/1> KO85XT 20; - сообщение с хэш суммой длинного позывного и полный локатор.

R2AJA KO85 20; - сообщение с обычным позывным и четырёхзначным локатором. (Формат №3)

<R2AJA> KO85XT 20; - сообщение с хэш суммой полного позывного и полный локатор.

Локатор – или WLoc – особый вид кодирования координат. Подробнее про систему локаторов можно почитать в [2].

- В стандартном сообщении выделяется 28 бит информации на позывной, 15 бит на локатор и 7 бит на кодирование мощности – всего 50 бит.
- К сообщению добавляется избыточность (FEC K=32, R=1/2).
- Количество символов передаваемое в канале = $(50+K-1) \times 2 = 162$
- Скорость передачи сообщения = $12000/8192 = 1.4648$ бод.
- Модуляция – четырёхпозиционная частотная с непрерывной фазой (4-FSK), расстояние между тонами 1.4648 Гц.
- Занимаемая полоса – около 6 Гц.
- Синхронизация 162 символьным псевдослучайным вектором.
- Каждый канальный символ состоит из бита синхронизации и бита сообщения, всего возможно четыре комбинации.
- Длительность одной передачи 110.6 секунд. (около двух минут, поэтому и название WSPR2)
- Передачи начинаются с каждой четной минуты, первой секунды. Например, 00:00:01, 00:02:01 и т.д. Время должно быть синхронизировано с всемирным точным временем.
- Точность установки времени ± 1 секунда. Однако, практически, декодер позволяет принимать сигналы даже с большим расхождением.

Более подробную информацию о WSPR можно почерпнуть из документа WSPR v.3.0 [3] При использовании протокола WSPR мы сильно ограничены в содержании самого сообщения, но зато получаем выигрыш в помехоустойчивости около 15 дБ, по сравнению с телеграфом! Это равносильно тому, что телеграфный маяк мощностью 10 Вт, можно заменить WSPR маяком мощностью всего 0.3 Вт! Рассмотрим теперь, как можно сделать такой маяк.

Для формирования сигнала WSPR потребуется синтезатор частоты, построенный на микросхеме Si5351. Распаянную плату можно сделать самостоятельно или приобрести готовую. Как правило на таких платах стоят кварцевые резонаторы на 25 МГц, которые позволяют формировать сигналы на всех коротковолновых любительских диапазонах.

При работе на УКВ в двухметровом диапазоне, потребуется заменить кварц на 27 МГц. Отмечу, что плата с Si5351 также содержит преобразователь уровней 5 В-3.3 В, по питанию и шине I2C, т.к. предполагается работа с Arduino Nano, рассчитанным на напряжение 5 В.[4]

Для контроля времени потребуется модуль реального времени DS3231, который придется приобрести. Обратите внимание, что на плате DS3231 должен быть вывод SQW, необходимый для работы данного маяка.

Микроконтроллер – «Арудино» подойдет в любом удобном исполнении (UNO, Nano, Pro Mini).

Схема соединений функциональных узлов представлена на рис. 1.6.2.

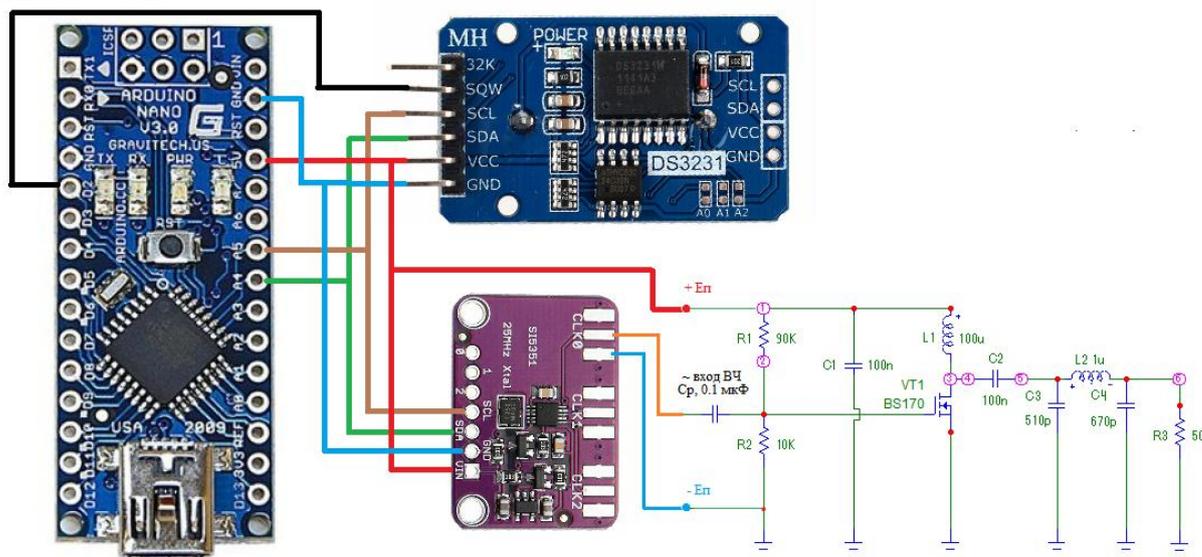


Рис. 1.6.2. Схема соединений функциональных узлов маяка

Плата реального времени и синтезатор подключаются к микроконтроллеру по интерфейсу I2C, разъёмы «SCL» к «A5» Arduino, «SDA» к «A4» Arduino. Вывод SQW DS3231 подключается к D2 Arduino, служит для передачи 1 Гц импульсов оповещения микроконтроллера о изменении времени. «Vin», «Vcc» и «+En» УМ подключаются к 5V Arduino для питания всех устройств от «Ардуино». Общие для всех - земля «GND» и контакт «-En» УМ.

Текст прошивки данного маяка достаточно сложен для приведения в этой книге. Поэтому скетч следует скачать на сайте автора прошивки [5]. Скетч постоянно модернизируется. Вариант с описываемой здесь версией маяка можно загрузить по перечню из Приложения В.

На сайте автора прошивки [6], а также в архиве со скетчем (doc/band_configurator.html) прилагается калькулятор расчета значений регистров синтезатора для формирования желаемой частоты. «**si5351 configurator for Arduino-based multimode beacon**» в котором следует ввести

- частоту кварца в Гц;
- погрешность частоты в PPM (определяется экспериментально, для начала можно оставить значение 0);
- Рабочая частота маяка. Должна соответствовать выбранному диапазону, см. табл. 1.6.1. Поскольку маяки WSPR часто настраивают на центральную частоту «окна», имеет смысл так не делать и выбрать любую частоту в указанных пределах;

- Режим работы – WSPR2;
- Msync/R control = Auto

Таблица 1.6.1. Частотные окна для WSPR

Диапазон	Рабочие частоты, в кГц
160М	1838.000 - 1838.200
80М	3570.000 - 3570.200
60М	5288.600 - 5288.800
40М	7040.000 - 7040.200
30М	10140.100 - 10140.300
20М	14097.000 - 14097.200
17М	18106.000 - 18106.200
15М	21096.000 - 21096.200
12М	24926.000 - 24926.200
10М	28126.000 - 28126.200
6М	50294.400 - 50294.600
2М	144489.900 - 144490.100

После ввода всех данных, программа посчитает коэффициенты и сформирует строчку кода под заголовком **«Generated code. Copy the text below and paste into arduino code.»**

Например: {Mode_WSPR2, 31, 154287, 614418, 30, 1, 12, 8192, 120} // f=28.126 MHz; WSPR2; step=1.465Hz; 1.465baud; T/R=2m

Его следует подставить в соответствующее место прошивки маяка (si5351-beacon.ino) `JTBandDescr bandDescrArray[] = {};` .

Еще одна строчка в скетче, которую следует настроить под себя – передаваемый текст в формате №1.

```
void initializeWSPRCoder()
```

```
{
wsprCoder.encodeMessage( "R2AJA", "KO85", 20 ); // <---- WSPR message defined here.
}
```

Число 20 означает мощность в дБм, это соответствует 100 мВт.

После загрузки прошивки в Ардуино, не отключая его от компьютера, в среде компиляции «Arduino IDE» следует войти в режим монитора порта. «Инструменты» > «Монитор последовательного порта».

Синхронизировать время на компьютере с точным временем по интернет, с помощью стандартного средства Windows «Дата и время» > «Время по интернету» > «Настройка времени по Интернету» > «Обновить сейчас». Также можно пользоваться утилитой Dimension 4.

Теперь в окне «Монитора последовательного порта» можно ввести команду «Stop» и нажать Enter для остановки маяка.

Ввести команду «ts» и нажать Enter, маяк выведет на экран свое текущее время в формате ГГ-ММ-ДД ЧЧ:ММ:СС.

Ввести команду «setdate ГГ-ММ-ДД ЧЧ:ММ:СС» и нажать Enter.

Вам необходимо набрать тест команды со временем заранее, и точно в нужную секунду нажать Enter, таким образом Вы установите время на маяке.

После установки времени, маяк можно отключить от компьютера.

Выходная мощность Si5351 не превышает 10 мВт, поэтому подключим его к усилителю мощности, описанному в предыдущей главе через разделительную ёмкость Ср от 0.01 до 0.1 мкФ. Напряжение УМ будем брать прямо от Ардуино, т.е. оно будет около 5 В.

Настройку усиления выполняем делителем напряжения, к которому подключен затвор транзистора BS170 см. рис. 1.5.2, рис. 1.6.2. Для делителя с общим

сопротивлением 100 кОм примерное соотношение $R1 = 75$ кОм, $R2 = 25$ кОм, U_z должно быть в пределах от 1.5 В до 2.5 В. Питание маяка осуществляем через USB – кабель, подключенный к Ардуино. Его можно использовать с любым блоком питания USB или PowerBank.

Хорошим результатом можно считать полученную выходную мощность сигнала от 100 мВт до 200 мВт. С такой выходной мощностью транзистор BS170 справляется даже без внешнего радиатора.

Внешний вид узлов, входящих в состав маяка показан на рис. 1.6.3.

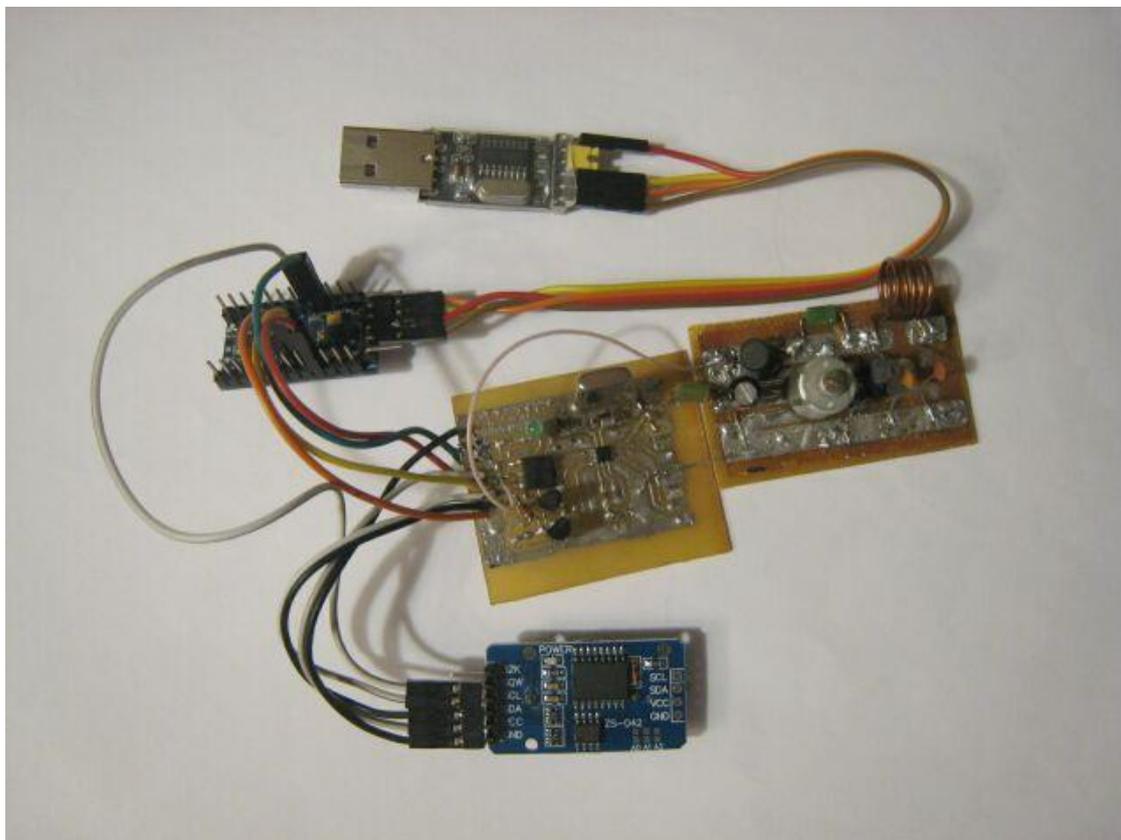


Рис. 1.6.3. Внешний вид узлов, входящих в состав WSPR маяка. Применен Arduino Pro Mini с отдельным преобразователем COM/TTL

Теперь, когда маяк готов можно подключить его к согласованной антенне и проверить работу в эфире. Для начала можно поработать 20М (днём) и 40М (вечером, утром и ночью).

Регистрации сигналов маяка или споты можно посмотреть на сайте сети Wsprnet.org в разделе Map или Database, где можно выбрать диапазон, позывной, период времени для которого нужна статистика. Как правило с поты от WSPR имеют значения от 30 до -30 дБ, а споты от CW-скиммеров от -1 дБ и выше, здесь следует помнить, что «CW Skimmer» рассчитывает отношение сигнал/шум в полосе 500 Гц, а WSPR в полосе 2500 Гц.

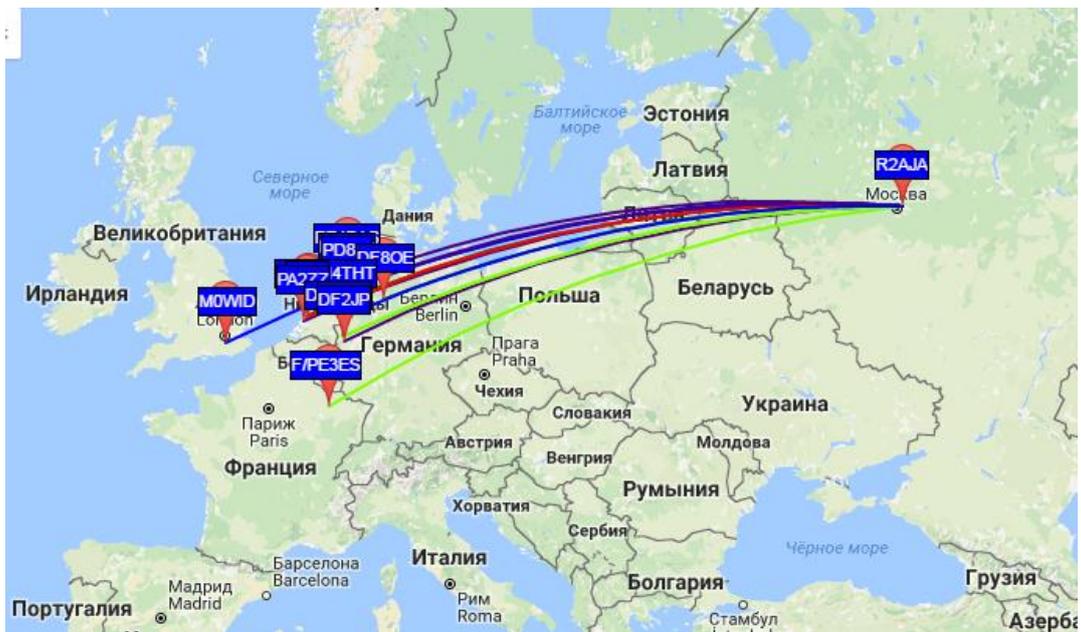


Рис. 1.6.4. Карта полученных спотов за 10 минут работы маяка

Дальность передачи WSPR больше зависит от ионосферы, чем от передатчика. Некоторые цифры впечатляют. Так 17.11.2018 сигнал с мощностью около 0.2 Вт представленного маячка был принят в Антарктиде станцией DP0GVN, а это дистанция - 14534 км или эффективность 45155,05 миль на ватт!



Рис. 1.6.5. [2018-11-17 19:32 R2AJA 10.140209 -27 0 KO85xt 0.2 DP0GVN IB59uh 14534 198]



Рис. 1.6.6. Полярная антарктическая станция «Neumayer»

Такое прохождение наблюдалось несколько дней с 20:00z до 02:00z, а потом прекратилось.

Дополнительная информация:

[1] Лавриненков И.С. «Отношение сигнал/шум в радиолобительской практике»
Электронный журнал CQ-QRP #61 (Зима 2018)

[2] «Калькуляторы координат»

<http://hammania.net/index.php/online-kalkulyator-koordinat>

[3] Joe Taylor, K1JT, «WSPR3.0 User's Guide»

http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/WSPR_3.0_User.pdf

[4] «Двухнаправленный преобразователь уровня для шины I2C и других систем» в переводе К. Староверова. <http://www.gaw.ru/html.cgi/adv/publ/interface/97055.htm>

[5] Alexander Sholohov, RA9YER Blog

<http://ra9yer.blogspot.com/2016/05/arduino-si5351-beacon.html>

[6] «si5351 multimode beacon configurator»

<http://ra9yer.blogspot.com/p/si5351-configurator.html>

1.7 Генераторы на частоты от 450 кГц до 465 кГц

В данном разделе рассмотрим низкочастотные генераторы, которые могут служить приставками к бытовым коротковолновым АМ приёмникам в которых бывают диапазоны КВ близких к любительским 20М, 40М, 80М. Принцип работы такой приставки - генерировать частоту, близкую к промежуточной частоте приёмника, которая смешиваясь с сигналом на ПЧ преобразуется в слышимые колебания. Таким образом такая приставка позволяет выделять телеграфные или SSB сигналы.

Генератор должен быть расположен близко к блоку ПЧ приёмника или своей простой антенной охватывать приёмник.

Первая схема - генератор «Пирса» работает с трёх- и четырёх- контактными пьезофильтрами типа ФП1П, см. рис. 1.7.1.[1]

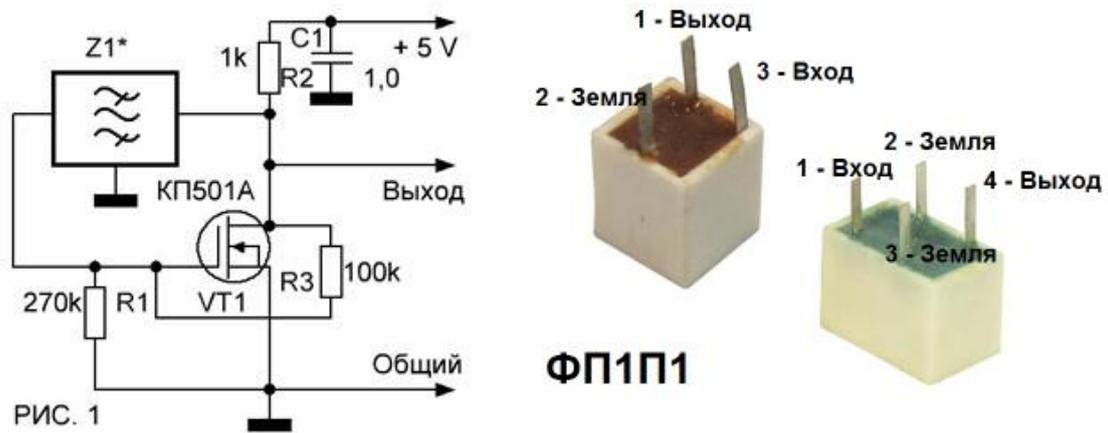


Рис. 1.7.1. Генератор на n-канальном транзисторе

Транзистор n-канальный BS170. Подключение «Земли» к фильтру обязательно! С зарубежными оранжевыми трёхлапчатыми фильтрами типа SFU465, SFU455  такая схема не запускалась.

Антенна – отрезок провода. V_{pp} приблизительно равно напряжению питания (от 3 до 9 В) на нагрузке 1 МОм. Смена «выхода» и «входа» фильтра местами сдвигает частоту на несколько Гц.

Плата за простоту схемы «Пирса» - напряженные условия работы резонатора и транзистора, поэтому следует стремиться к уменьшению напряжения питания.

Генератор можно отрабатывать на макетной плате. Пример платы для отработки на рис. 1.7.2.

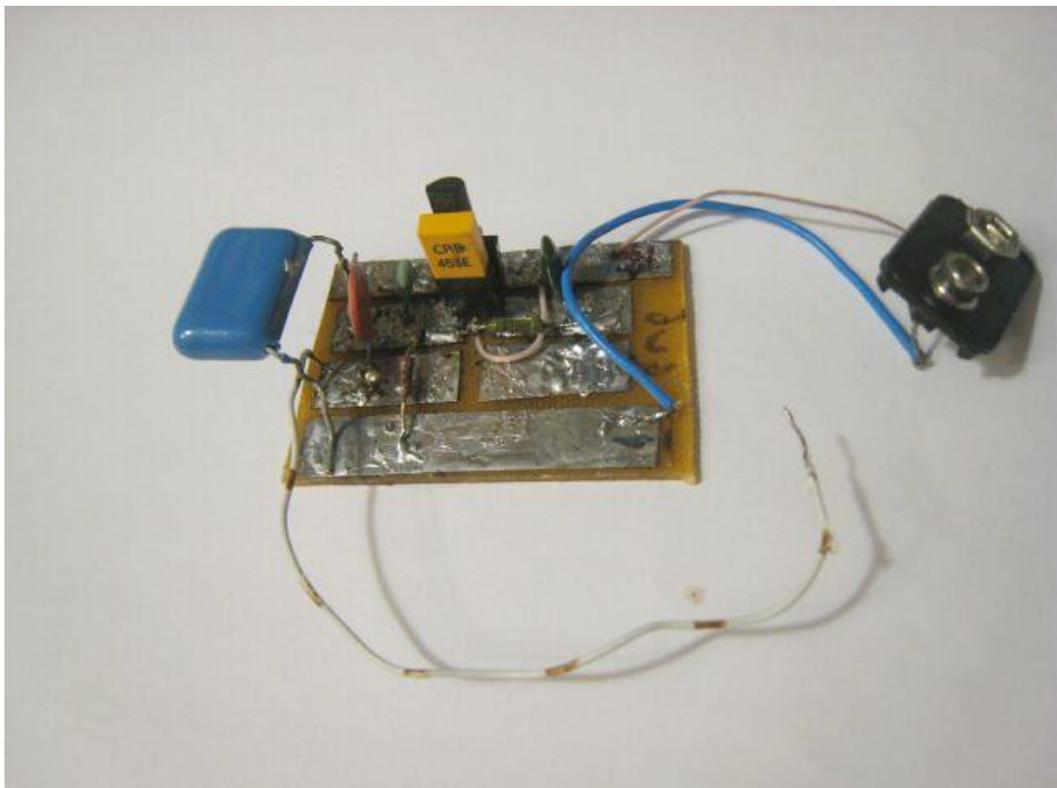


Рис. 1.7.2. Макетная плата под пайку для генератора

Вторая схема предназначена для работы с биполярным транзистором. см. рис. 1.7.3.
[2]

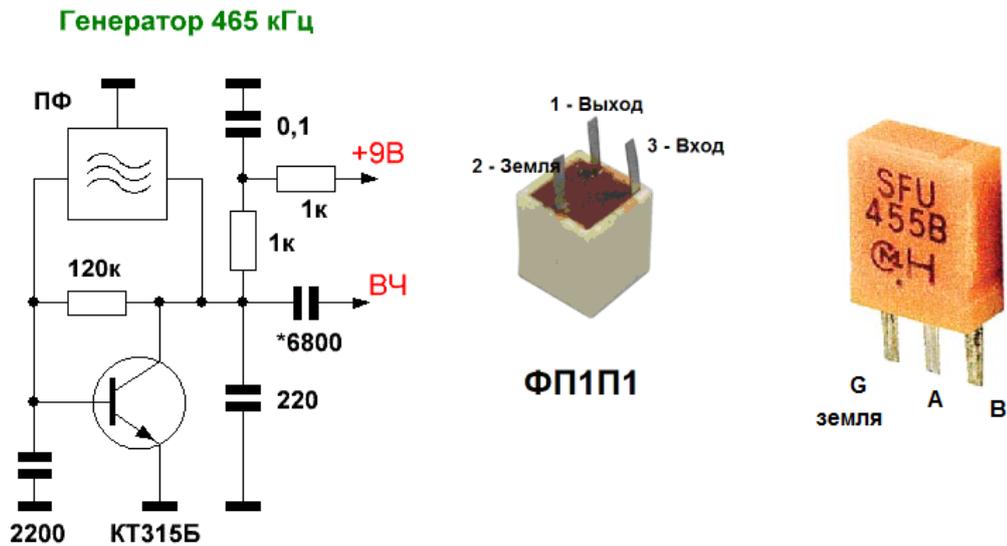


Рис. 1.7.3. Генератор на биполярном транзисторе и пьезофилтре с «землёй»

Данный генератор работает с трёх- и четырёх- контактными пьезофилтрами типа ФП1П, а также с зарубежными филтрами SFU465, SFU455 . Транзистор – КТ315Б, подойдут и другие, $h_{21э}$ желательно не менее 60, а лучше 100. Подключение «Земли» в к филтру обязательно! Антенна – отрезок провода. Выходное V_{pp} приближенно равно напряжению питания (от 5 до 9 В) деленное на 4, на нагрузке 1 МОм. С нагрузкой 50 Ом генератор не заводится. Смена «выхода» и «входа» филтра местами сдвигает частоту на несколько Гц.

Третья схема отличается от второй – двухвыводным пьезофилтром CRB455, ZTB455  см. рис. 1.7.4. Схему предложил радиолюбитель RV6LML.

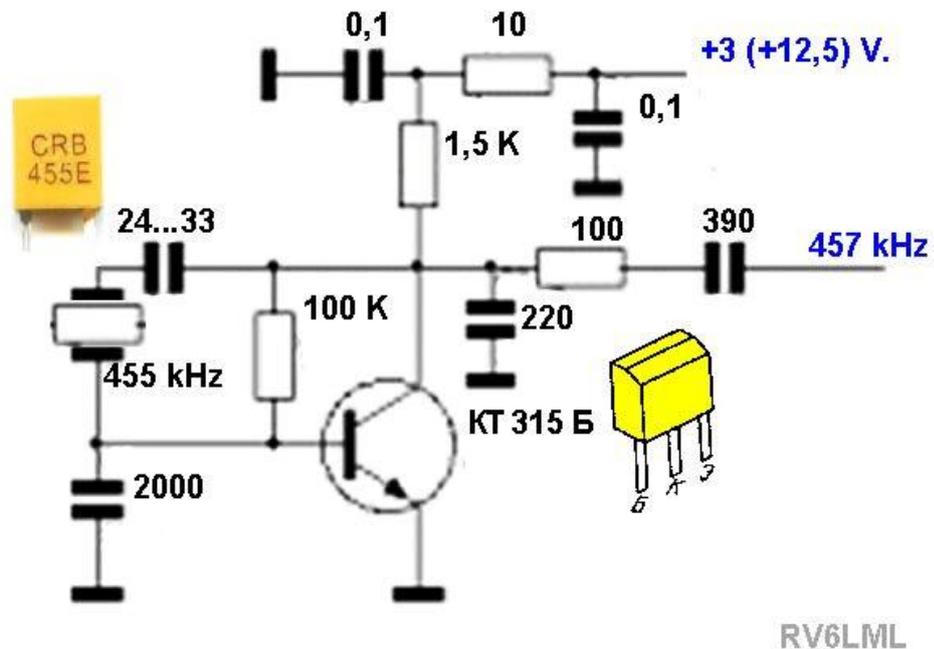


Рис. 1.7.4. Генератор на биполярном транзисторе и двухвыводном пьезофилтре

Запускается даже без цепочки $C\ 0.1 - R\ 10\ \text{Ом}$, питание можно подавать сразу через $R\ 1.5\ \text{кОм}$ на коллектор. Также проверено, что схема завелась с кварцевым резонатором на $400\ \text{кГц}$. Во второй и третьей схеме также следует стремиться к уменьшению напряжения питания.

Четвертая предлагаемая схема более сложная, но работает стабильнее. Генератор строится по схеме Клаппа см. рис. 1.7.5.[3]

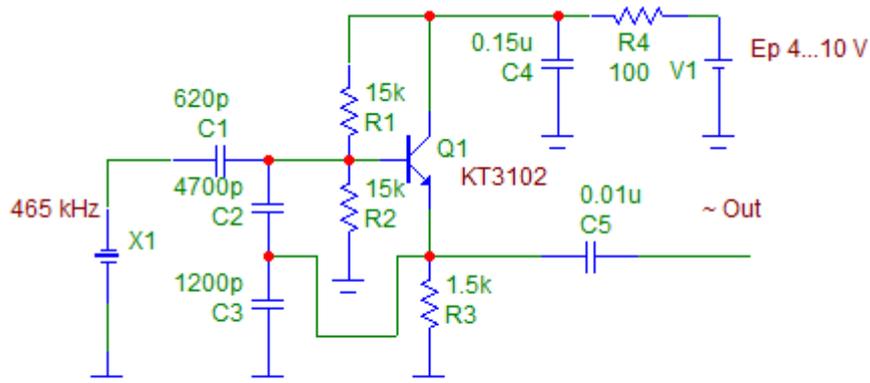


Рис. 1.7.5. Генератор по схеме Клаппа

Данный генератор работает с трёх- и четырёх- контактными пьезофильтрами типа ФПП, с зарубежными фильтрами SFU465, SFU455 , и двуножечными фильтрами CRB455 . Транзистор - KT3102, KT315 подойдут и другие, с $h_{21э}$ желательно не менее 60, а лучше 100. Подключение «Земли» к трёхлапчатому фильтру в данной схеме необязательно. В качестве антенны – отрезок провода. Данный генератор также может работать на нагрузку $50\ \text{Ом}$. Напряжение питания – от 1 до 10 В.

Дополнительная информация:

- [1] Лавриненков И.С. «Генератор 450 – 465 кГц на п – канальном транзисторе» QRP Вестник № 5 March 2018 © Club 72.
- [2] Лавриненков И.С. «Генератор 450 – 465 кГц по схеме «Пирса» на биполярном транзисторе» QRP Вестник № 6 May 2018 © Club 72
- [3] Лавриненков И.С. «Генератор 450 – 465 кГц по схеме «Клаппа» на биполярном транзисторе» QRP Вестник № 7 May 2018 © Club 72

1.8 Передача сообщений телеграфом

В 1792 году француз Клод Шапп разработал оптическую систему передачи сообщений с помощью специального кода, состоявшую из шестов на крышах высоких башен. Эта семафорная система получила распространение во Франции во время революции, а слово телеграф, буквально переводится как "Далеко" + "Пишу".

А история изобретения электрического телеграфа переносит нас в 1825 год, когда Сэмюэл Морзе, находясь вдали от дома, получил письмо, но не успел приехать к своей заболевшей жене. Оправившись от потрясения, Морзе решил во что бы то не стало создать систему для передачи сообщений на дальние расстояния. [1]

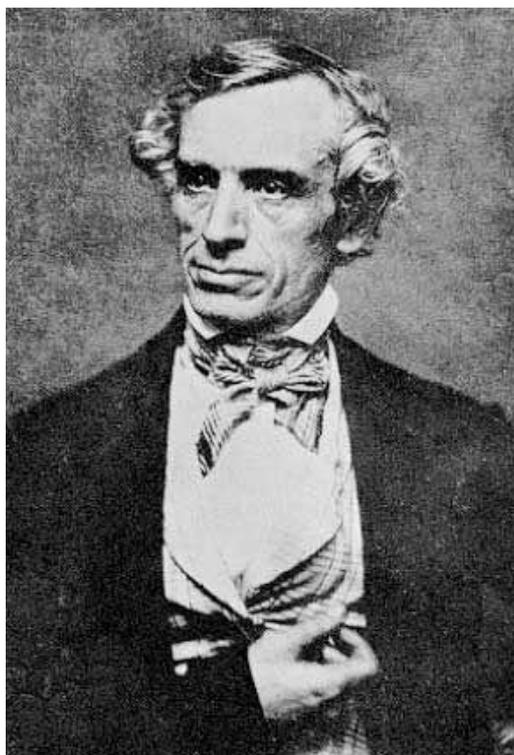


Рис. 1.8.1. Сэмюэл Финли Бриз Морзе

Профессор Джозеф Генри изобрёл и разработал техническую часть телеграфа в 1831 году. Генри не только придумал принцип электрического телеграфа, состоявший в передаче информации с помощью закодированных импульсов по проводам, но и разработал все необходимое для этого оборудование, но почему-то не удосужился ни проработать все мелочи, ни, самое главное, запатентовать своё открытие.



Рис. 1.8.2. Джозеф Генри

Техникой Джозефа Генри заинтересовался Сэмюэл Морзе. Идея передачи информации по проводам захватила его настолько, что он бросил все другие занятия и

провёл пять лет в нужде, совершенствуя телеграф и добиваясь финансирования своего проекта конгрессом.[2]



Рис. 1.8.3. Телеграфный аппарат

Промышленник Стив Вейл помог Морзе деньгами и помещением для опытов. Азбуку, состоящую из коротких (точки) и длинных (тире) электрических сигналов, предложил сам Морзе, а коды подбирал Альфред Вейл, сын Стива. Морзе предложил ему придумать комбинации точек и тире, с условием, чем чаще встречается буква в английском языке, тем меньше точек и тире должно входить в её код.[3]

В те времена печатная продукция набиралась вручную, а буквы для набора вырезались в зеркальном отражении на металлических кубиках. Буквы А хранились в одном ящичке кассы, буквы В — в другом и т. д. Наборщик складывал буква к букве, получая слова, предложения и целые страницы. Вейл зашёл в ближайшую типографию и оценил размер ящичков для каждой буквы. Чем реже встречалась эта буква в печатном тексте, тем в меньшем по размеру ящичке она хранилась. Таким образом задача была решена.

Получив деньги от конгресса США, Морзе протянул телеграфную линию между Вашингтоном и Балтимором и 11 мая 1844 г. послал первое телеграфное сообщение (слово «телеграмма» появится только через двенадцать лет). Каждый американский школьник знает, что первая телеграмма гласила: «Чудны дела твои, Господи», хотя на самом деле самая первая телеграмма была: «Все работает нормально». Общеизвестный текст предлагала взять из Библии дочь друга Морзе, главы Бюро патентов. [2]

Познакомившись с историей создания телеграфа, перейдём теперь к практической части.

Для временных соотношений в телеграфе за основу принимают длительность одной точки. Длительность тире равна трём точкам. Пауза между элементами буквы – одна точка. Пауза между буквами – три точки. Пауза между словами 7 точек. Для обучения телеграфу

иногда может встречаться вариант ARRL Farnsworth, тогда увеличиваются паузы между буквами и словами. Ниже показан вариант распределения длительностей для скорости передачи 15 слов в минуту (15 WPM). Или 75 букв за минуту, characters per minute (CPM). Условно считается, что одно слово состоит из 5 букв.

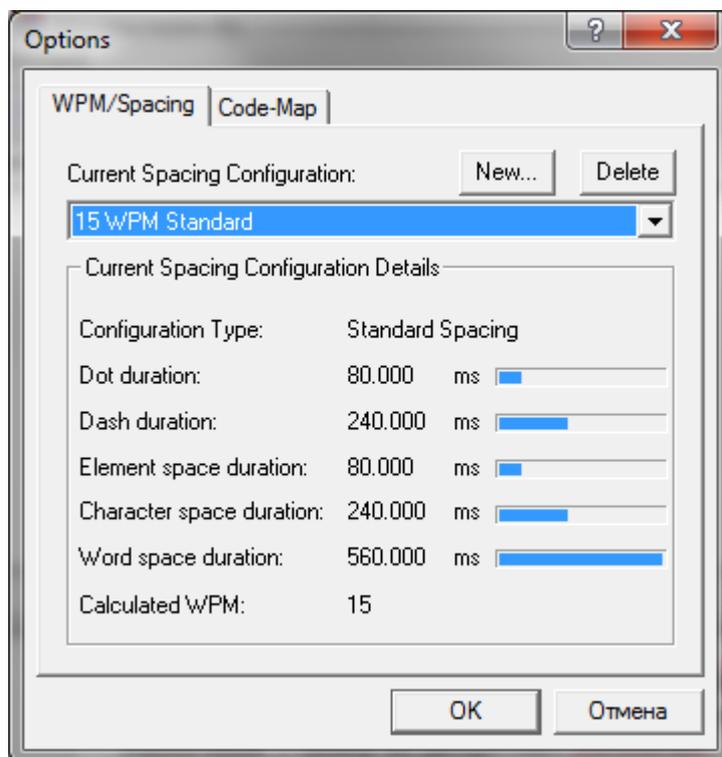


Рис. 1.8.4. Временные соотношения в телеграфе (окно Options, программы «WinMorse» 2.0)

Заметим, что занимаемая полоса частот телеграфного сигнала связана с выбранной длительностью точки. Для скорости 15 WPM длина одной точки составляет 80 мс. Полосу частот, занимаемых таким сигналом можно оценить, как $1/0.08 \text{ с} = 12.5 \text{ Гц}$. Практически полоса приёмника используется шире в три раза, т.е. считаем занимаемую полосу как 37.5 Гц.

Согласно принятому стандарту телеграфа длительности кодирующих комбинаций точек и тире выбраны по вероятности их появления в английских словах. Соответствие алфавита и набору кодирующих элементов показано в табл. 1.8.1.

Таблица 1.8.1. Азбука Морзе

A .-	O ---	1 .----
B -...	P --.	2 ..---
C -.-.	Q --.-	3 ...--
D -..	R .-.	4-
E .	S ...	5
F ..-	T -	6 -....
G --.	U ..-	7 ---..
H	V ...-	8 ---..
I ..	W .--	9 ----.
J .---	X -.-	0 -----
K -.-	Y -.-	?..--.
L -..	Z --..	= -...-
M --		/-...-
N -.	-

Для того чтобы операторы и автоматика могли правильно принимать и трактовать сообщения, переданные телеграфом, существуют правила и условные сокращения. Приведем те из них, которые используются при работе маяков и скиммеров см. табл. 1.8.2.

Таблица 1.8.2. Особые слова в телеграфе

Слово	Значение
VVV	Начало передачи
DE	Признак позывного передающей станции Пример: ... DE R2AJA – т.е. передает R2AJA
CQ	Seek you – ищу тебя. Передается оператором, желающим установить контакт с другой станцией.
TEST	Передается перед своим позывным в контесте. Используется для сокращенной передачи общего вызова. Пример: TEST MOROZ R2AJA R2AJA TEST (MOROZ – название контеста).
/В	Признак присоединённый к позывному. Показывает, что станция работает в режиме маяка.
..	Две отдельные точки – иногда используется операторами для обозначения окончания сеанса связи, вместо SK.

Для передачи состояния маяка могут быть использованы буквы или сокращения параметров. Для примера показана табл. 1.8.3.

Таблица 1.8.3. Сокращения параметров

Напряжение	V
Сила тока	I
Температура	T
Знак минус	M
Мощность, давление	P

Сначала передается признак параметра, а затем его значение. Например, напряжение 12 В и температуру -5° С можно сокращенно передать как **V 12 T M5**. Считается, что по умолчанию величины передаются в интернациональной системе измерений (СИ).

Дополнительно, зная, что будут передаваться цифры, могут быть использованы условные сокращения. Эта практика часто применяется при передаче телеграфом телеметрии с радиолюбительских космических аппаратов, т.к. сеансы связи сильно ограничены по времени. (Для высоты орбиты 300 км, максимальное время сеанса около 5 минут, для высоты орбиты 600 км, около 10 минут). Приведем примеры передачи цифр в стандартном телеграфе (CW), варианты для космических аппаратов «Antelsat» и «XW-2», а также вариант, предложенный автором (R2AJA).

Таблица 1.8.4. Сокращения цифровых значений

CW		Antelsat		XW-2		NUM / R2AJA	
Значение	T	Значение	T	Значение	T	Значение	T
0	19X	E	1X	T	3X	T	3X
1	17X	I	3X	R	7X	A	5X
2	15X	T	3X	U	7X	U	7X
3	13X	S	5X	V	9X	S	5X
4	11X	A	5X	4	11X	H	7X
5	9X	N	5X	I	3X	E	1X

CW		Antelsat		XW-2		NUM / R2AJA	
Значение	T	Значение	T	Значение	T	Значение	T
6	11X	H	7X	6	11X	D	7X
7	13X	U	7X	K	9X	M	7X
8	15X	R	7X	M	7X	O	11X
9	17X	D	7X	N	5X	N	5X
Σ	140X	Σ	50X	Σ	72X	Σ	58X

Здесь показана длительность точки = X, Паузы между символами = X, длительность тире = 3X. Цветом выделены самые «длинные» цифры. Важно сохранить и интуитивность таких сокращений. Нижняя строчка показывает суммарную длительность набора цифр, можно отметить выигрыш в 2 раза по времени, при использовании сокращений.

Для примера приведём фрагмент телеметрии [4], переданной телеграфом с космического аппарата «Можаяц-4», который успешно работает на орбите с 2009 года (разработка бортового центрального компьютера (БЦК) и радиолиний - ООО «НИЛАКТ ДОСААФ» г.Калуга).

rs22 ub317 ib3129 usun0 isun0 itxa0 itxb0 ttxa105 ttxb104 tnap104 tctr129 tsba126 tsbb125 modb145 modc6 mtx31 mrx32 rs22

Здесь rs22 – позывной аппарата (Радио спутник 22), параметры обозначаются трёхбуквенными и четырёхбуквенными сокращениями, цифры передаются в обычной азбуке Морзе, без знаков – разделителей. Полученные значения можно подставить в специальную программу и прочитать значения параметров, которые передал спутник. см. рис. 1.8.5.

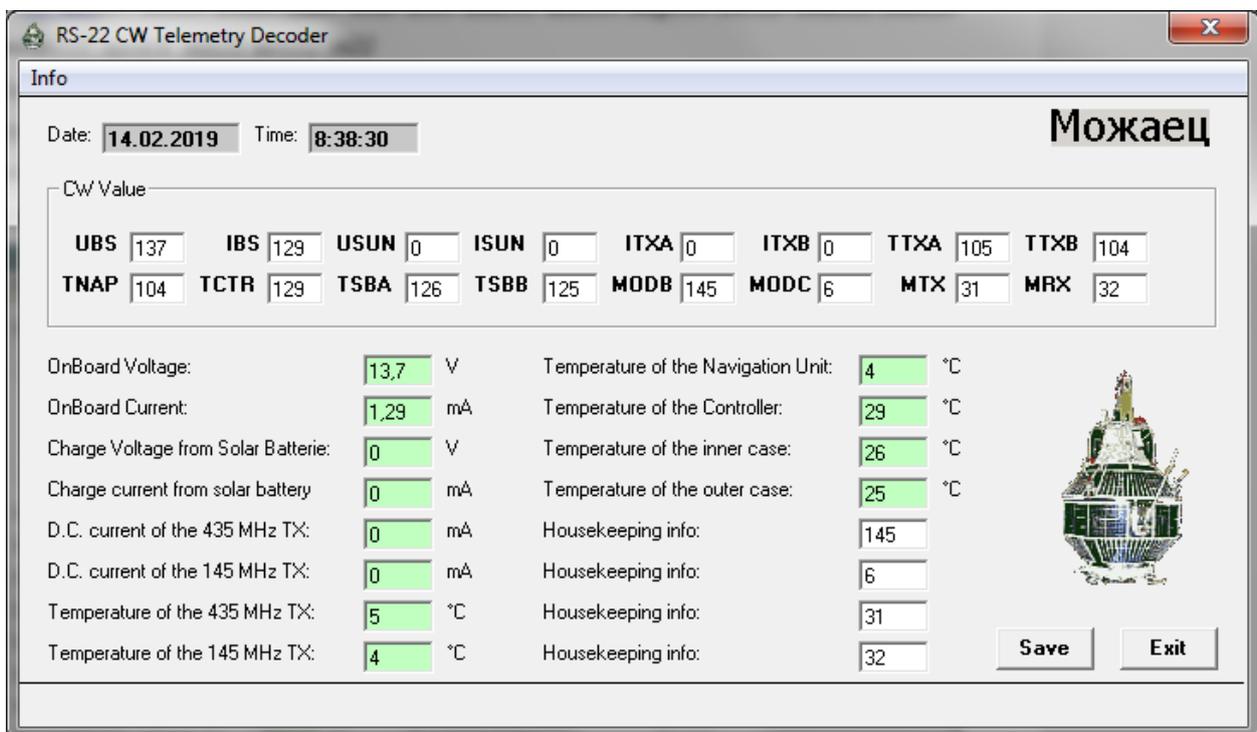


Рис. 1.8.5. Декодер телеметрии спутника Можаяц-4 (RS-22)

Дополнительная информация:

[1] Юлия БОНДАРЕВА «Как появилась и как использовалась азбука Морзе»
<https://www.samara.kp.ru/daily/26213/3098078/>

[2] «История изобретения телефона и телеграфа»
<http://kakizobrel.ru/istoriya-izobreteniya-telefona-i-telegrafa/>

[3] Борис Дружинин «Поёт морзянка за стеной весёлым дискантом» «КВАНТИК» №12, 2013

[4] «Радионаблюдения ИСЗ» <http://www.sat.belastro.net/glava5/glava5.2.p1.php>

[5] Гоша радист. «Радио. Радиолубительские спутники.»
<https://gosh-radist.blogspot.com/2013/06/rs-22.html>

[6] «Сравнение CW / QRSS CW/ WSPR»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/12/cw-qrss-cw-wspr-compare.html>

[7] "QRSS для Вас", перевод А.Н. Анкудинов, UA3VVM 03.08.2010

http://ua3vvm.qrz.ru/qrss-tech/html/qrss_for_your.htm (исходник на www.ka7oei.com Clint Turner)

1.9 Сверхмедленный телеграф QRSS

Для повышения помехоустойчивости в радиосвязи применяется сверхмедленный Телеграф или QRSS. При этом длительности знаков и паузы удлиняются пропорционально удлинению точки. Существуют варианты: QRSS3 – длительность точки равна 3 секунды, QRSS10 – длительность точки равна 10 секунд, QRSS30 – длительность точки равна 30 секунд. При этом спектр сигнала сужается, и помехоустойчивость растёт. На слух принимать такие длинные сигналы сложно, этим занимаются специальные компьютерные программы, выполняющие некогерентное накопление сигнала, например, «Argo» и «Spectran».

Пример приёма сигнала QRSS показан на рис. 1.9.1. [1]

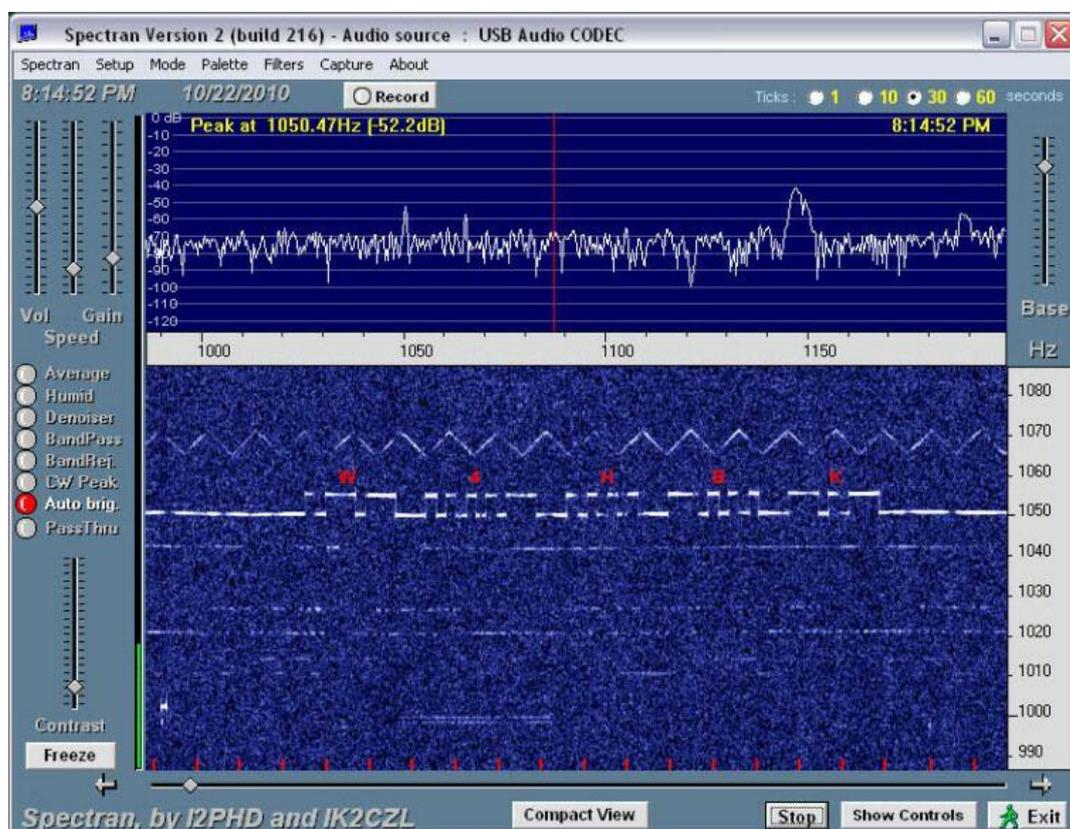


Рис. 1.9.1. Пример приёма сигнала QRSS

Программа «Spectran» имеет установки для приёма QRSS с разными скоростями в меню “Mode”. На приведенном примере читается сигнал W4HAK. Обратите внимание, что сигнал кодируется сдвигом частоты, это сделано для того, чтобы не попадать на переходные процессы, связанные с включением и выключением генератора, которые крайне нежелательны в QRSS. Также следует отличать данный вариант от Double Frequency Continuous Wave - DFCW, когда одна частота кодирует точки, а другая – тире.

Отметим, что визуальное наблюдение сигнала WSPR вовсе не гарантирует его декодирование, при этом наблюдение QRSS позволяет уже говорить о успешном приёме.

Стоит также сказать о стабильности частоты как передатчика, так и опорного гетеродина в приёмнике. Желательно иметь стабильность не менее 1 Гц. Если присутствует постоянный дрейф частоты, температурный дрейф или другие виды нестабильности частоты, накопление сигнала становится невозможным см. рис. 1.9.2.

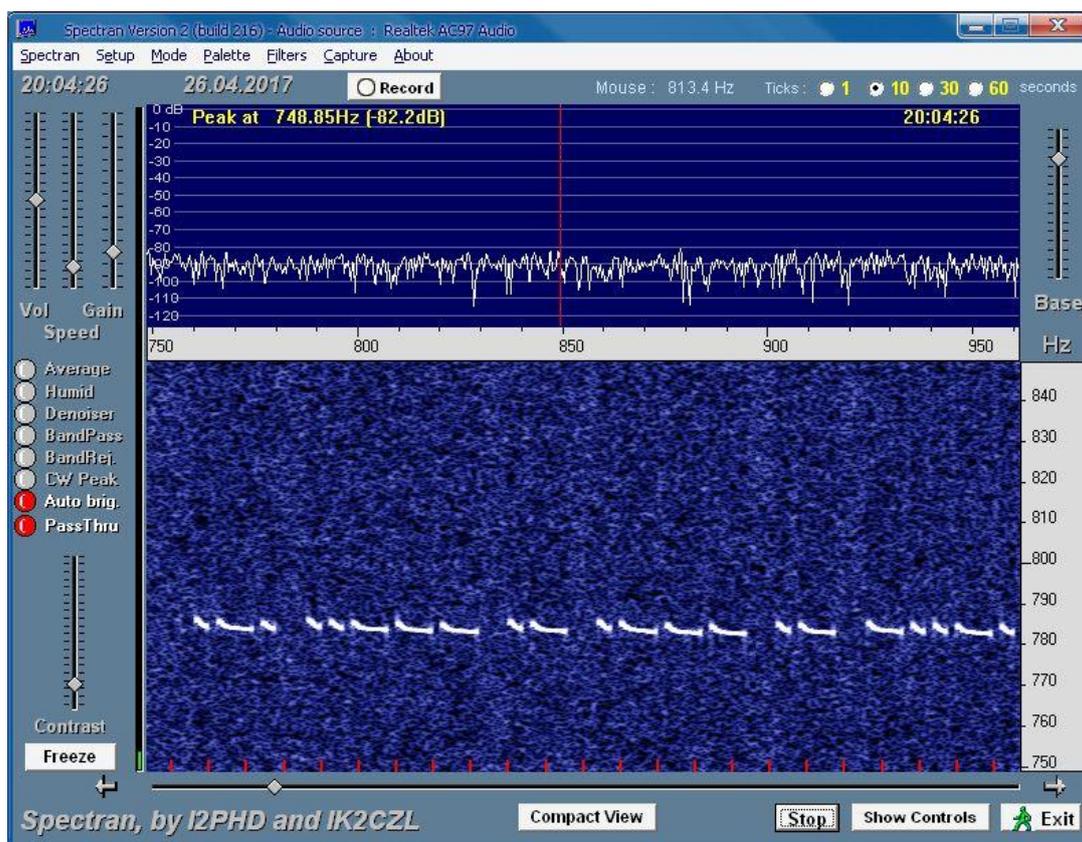


Рис. 1.9.2. Пример частотного дрейфа сигнала QRSS

Здесь сигнал хорошо читается, т.к. генератор находится в непосредственной близости от приёмника. В реальных условиях все будет иначе.

Вы можете попробовать запрограммировать телеграфные маяки, описанные в Главе 1, в режим QRSS3. Для этого следует установить значение в скетче прошивки `const int point_time = 3000`,

однако следует позаботиться о температурной стабилизации режимов генератора или предусмотреть сдвиг частоты варикапом.

Приведем сравнительное сравнение модуляций CW / QRSS3 / OPERA 2/ WSPR2.

Таблица 1.9.1. Сравнение характеристик CW / QRSS3 / OPERA 2 / WSPR2

	CW 12 WPM	CW 2 WPM	QRSS3	OPERA 2	WSPR2
Длительность единичного сигнала	100 мс.	600 мс.	3000 мс.	512 мс.	682.7 мс.
Передаваемая информация	Произвольная (Позывной, локатор, мощность)			Позывной	Позывной, локатор, мощность
Время передачи сообщения «K1ABC FN42 37»*	15.8 с.	94.8 с.	474 с. 180 с. только позывной	122.368 с.*	110.6 с.
Скорость передачи пользовательской информации **	4 бит/с	0.66 бит/с	0.13 бит/с	0.23 бит/с	0.45 бит/с
Относительный выигрыш по сравнению с CW 12 WPM	0 дБ	7.8 дБ	14.8 дБ	9 дБ	15 дБ
Относительный S/N в полосе 2500 Гц достаточный для декодирования	-14 дБ	-21.8 дБ	-28.8 дБ	-23 дБ**	-29 дБ
Необходимый уровень Eb/N0**	+13 дБ	+13 дБ	+14 дБ	+14 дБ	+5 дБ
Занимаемая полоса	10 Гц	1.6 Гц	0.33 Гц	1.95 Гц	5.86 Гц
Практическая полоса приёма	30 Гц	5 Гц	1 Гц	6 Гц	17.5 Гц
Количество частот	1	1	1	1	4
Частоты для 30М диапазона	10100.0 кГц 10150.0 кГц	10100.0 кГц 10150.0 кГц	10139.9 кГц 10140.1 кГц	10136.3 кГц- 10136.7 кГц	10.140.1 кГц 10.140.3 кГц

* Взято из примера WSPR 2.0 Guide. Для формата OPERA2 возможна передача только позывного.

** Согласно «Signal/noise ratio of digital amateur modes» [7]

По таблице видно, что QRSS3 по помехоустойчивости сопоставим с WSPR2, при этом можно отметить, что QRSS10 и QRSS30 будут даже превосходить WSPR2! Искать и передавать сигналы QRSS имеет смысл на диапазоне 30М, а также на ДВ: 137.7- 137.75 кГц.

В настоящее время с появлением WSPR интерес к QRSS значительно снизился, что связано скорее всего с отсутствием возможности автоматической регистрации позывных. Однако существуют грабберы – сервисы, выкладывающие скриншоты окон приёмных программ, с заданными интервалами времени. [2]

Дополнительная информация:

- [1] QRP Labs «QRSS TX Kit» – Dave Richards AA7EE
- [2] «Automatically-Updating Active QRSS Grabber List» <https://www.swharden.com/qrss/plus/>
- [3] «Цифровые технологии визуального радиоприёма» http://ua3vvm.qrz.ru/slow_modes.htm
- [4] «Принимаем QRSS сигналы на любительских КВ диапазонах» автор M0AYF, перевод: А. Н. Анкудинов (UA3VVM) http://ua3vvm.qrz.ru/qrss-tech/html/receiving_qrss1.htm
- [5] «Любительская узкополосная радиосвязь» автор ON7YD, перевод: А. Анкудинов (UA3VVM) <http://ua3vvm.qrz.ru/qrss-tech/html/on7yd.htm>
- [6] «Сравнение CW / QRSS CW/ WSPR» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/12/cw-qrss-cw-wspr-compare.html>
- [7] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM, «Signal/noise ratio of digital amateur modes»

1.10 Формат «Feld-Hell»

Hellschreiber – техника прямой передачи текста без кодирования была изобретена в Германии в 1927 году Рудольфом Хеллом. Существует несколько видов модуляции для Hellschreiber (C/MT-Hell, S/MT-Hell и др.), но здесь мы рассмотрим модуляцию Feld-Hell (On – Off – Keying), т.е. информация передается нажатиями на ключ, совсем как при работе морзянкой.

Набор стандартных символов Feld-Hell представлен на рис. 1.10.1.

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
1234567890.:;,'(")*!?'

Рис. 1.10.1. Набор символов Feld-Hell

Каждый элемент азбуки раскладывается на элементы, передаваемые в канале связи. Для примера рассмотрим цифру «3». [1]

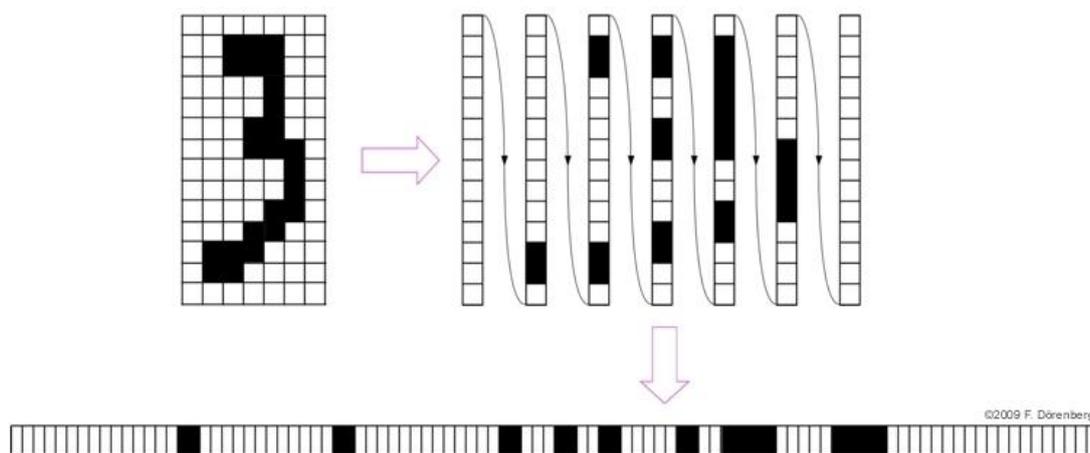


Рис. 1.10.2. Разложение цифры «3» в строку

Под один знак выделяется прямоугольник размером 7 на 14 клеточек. Поскольку подряд могут идти не меньше двух «окрашенных» элементов, можно считать, что поле для одной буквы состоит из 7 на 7 элементов. Для передачи одного знака последовательно передаются все столбцы прямоугольника, т.е. его развертка.

В докомпьютерную эпоху преобразованиями для передачи и получения сообщения использовались хитрые электромеханические аппараты [1]:

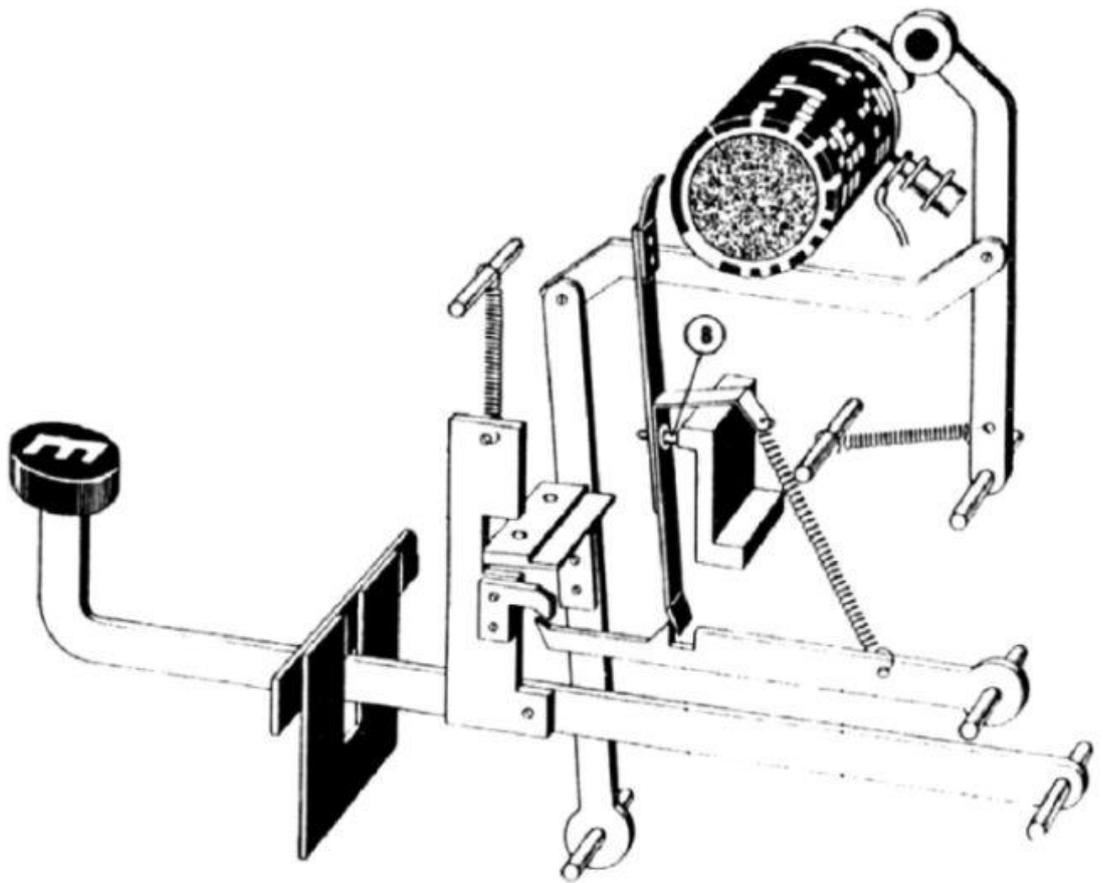


Рис. 1.10.3. Передающее устройство

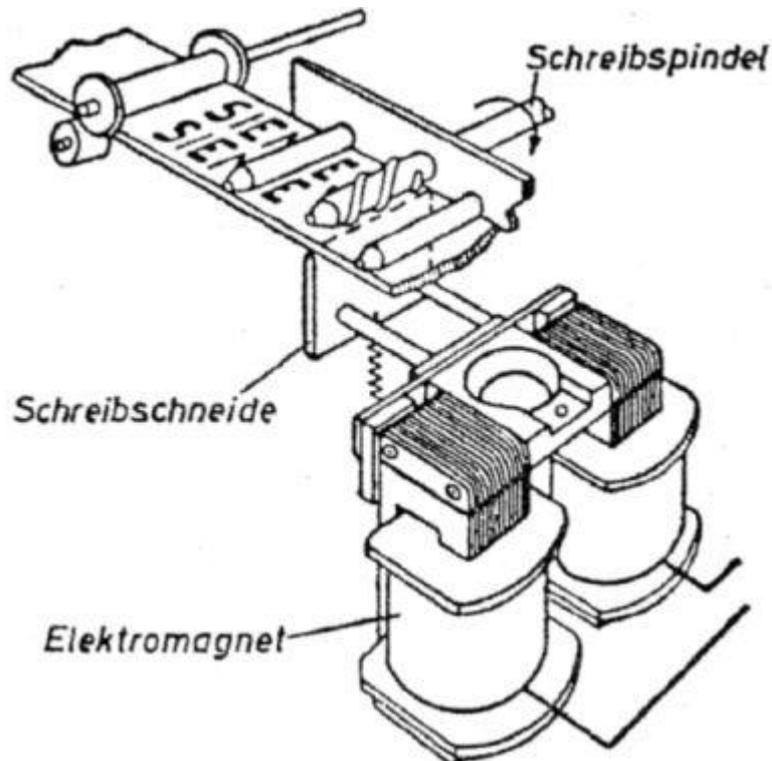


Рис. 1.10.4. Приёмное устройство

Сейчас же достаточно настроить компьютер и трансивер для передачи, или запрограммировать микроконтроллер с заданным текстом.

Важной особенностью формата является отсутствие синхронизации приёмной и передающей сторон, вследствие чего текст передачи может искажаться или уходить из поля зрения. Для борьбы с этой проблемой была предложена методика печати в две строки, тогда хотя бы одна строка обязательно попадает в поле зрения оператора.

Ниже приведен пример рассинхронизации по скорости передающей и принимающей машины всего на 1% [2]

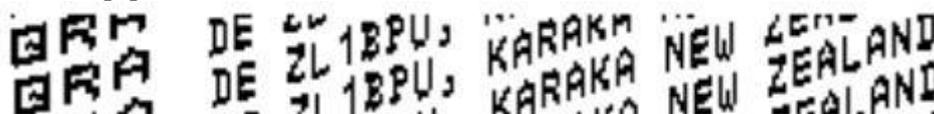


Рис. 1.10.5. Пример рассинхронизации передающей и принимающей сторон

Тем не менее, принять и прочитать текст возможно, благодаря двухстрочной печати! Основным временным соотношением Feld-Hell является скорость передачи вертикальных колонок. Стандартом считается скорость 17.5 колонок в секунду, что эквивалентно 2.5 символам в секунду или 25 WPM (122.5 бит/с). Допускаемая форматом погрешность между скоростью приёма и передачи составляет не более 0.1 %, хотя как мы видели ранее, текст возможно прочитать и при расхождении скоростей в 1 %.

Чем же хорош для радилюбителей формат Feld-Hell?

- Характеристики сигнала аналогичны высокоскоростной передаче CW;
- Малочувствителен к дрейфу частоты приёмника/передатчика;
- Достаточно узкополосный. Занимаемая полоса 300 Гц;
- Низкая нагрузка на передатчик. Среднее время загрузки передатчика 25% (минимально 6%, максимально 39%);
- Может быть использован простой CW-передатчик;
- Доступные программы для компьютера: «Hellschreiber», «WinHell», «Fldigi» и др;
- Возможность создания электромеханического приёмного устройства (Frank Dörenberg) см. рис. 1.10.6. [1]

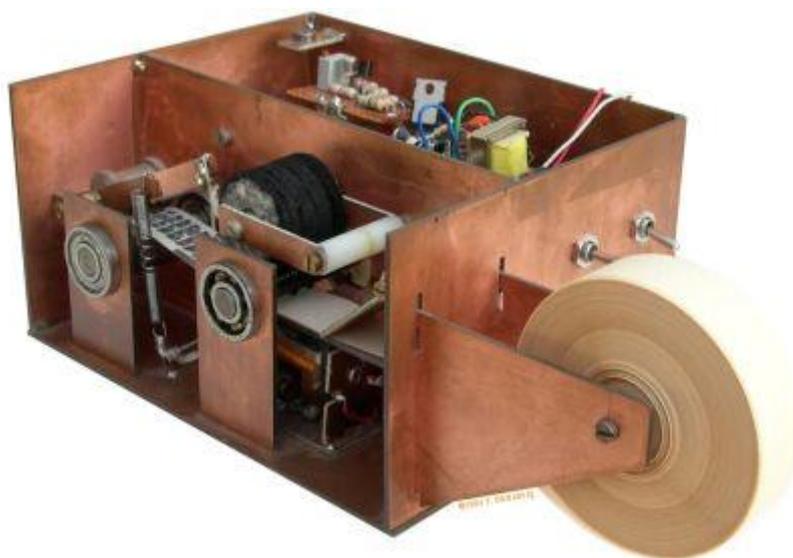


Рис. 1.10.6. Механический декодер Feld-Hell от Frank Dörenberg

Для передачи текста в автоматическом режиме Mark Vandewettering, написал программу для использования с микроконтроллером Ардуино. Исходный код которой можно почерпнуть на сайте Марка [3] и в Приложении Б данной книги. Здесь же рассмотрим, как записывается один элемент массива алфавита для Feld-Hell.

«Восклицательный знак»

{'!', {0x1f9c, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}}

Каждый элемент массива бинарно кодирует одну колонку для символа «!»

1f9c = 0001 1111 1001 1100

0000 = 0000 0000 0000 0000

И, мысленно, теперь перевернем вертикально:

0000000
0000000
0000000
1000000
1000000
1000000
1000000
1000000
1000000
1000000
0000000
0000000
1000000
1000000
1000000
0000000
0000000

Здесь «единица» кодирует включение передатчика «ноль» отключение.

Длительность одной такой «единицы» по стандарту Feld-Hell 4.08 мс, однако Марк использует 4.045 мс для учета задержек при исполнении программы. Зная принцип передачи символа, ничто не мешает придумать и свой вариант шрифта для формата Feld-Hell!

Пример приёма сигнала с модуляцией Feld-Hell показан на рис. 1.10.7. Для демодуляции используется программа «Fldigi».

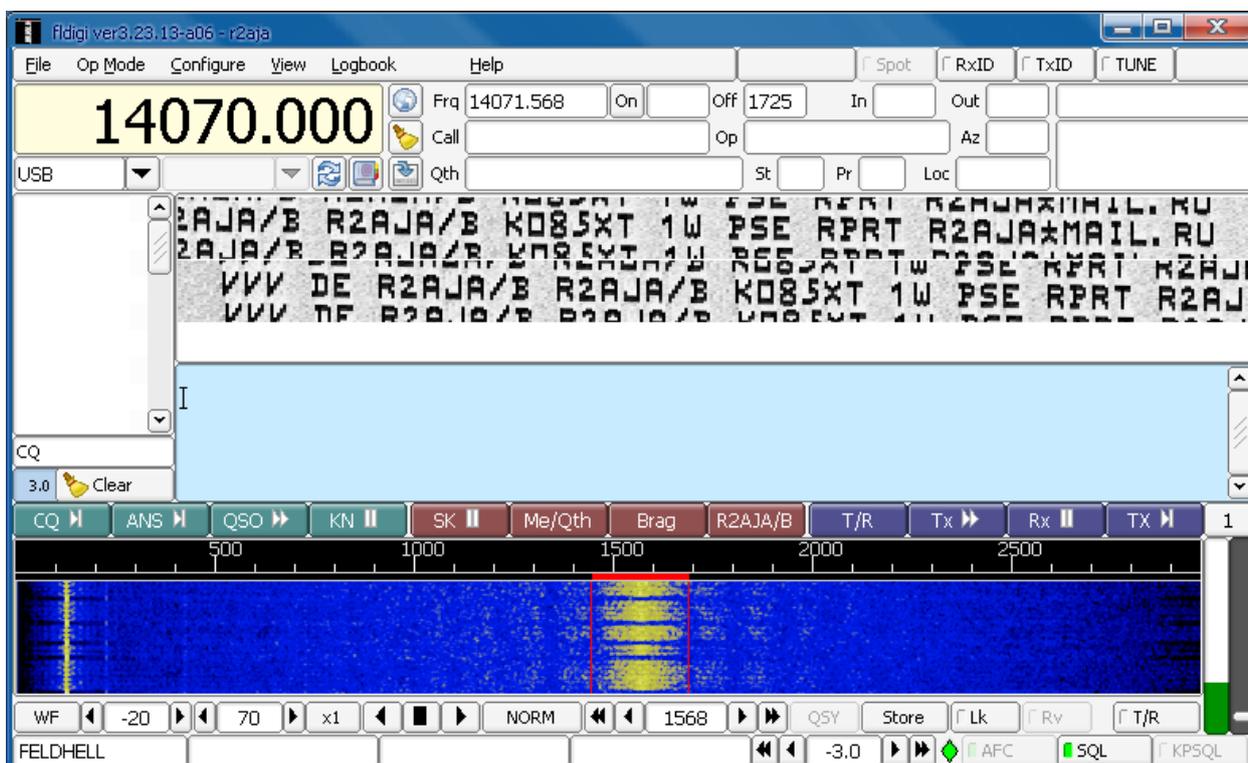


Рис. 1.10.7. Приём текста от Feld Hell маяка в программе «Fldigi»

В радиоэфире искать сигналы Feld-Hell стоит в районе частот 14.071 - 14.075 МГц, 18.104 - 18.107 МГц. (цифровые окна диапазонов). Последние новости и события про формат Feld-Hell можно узнавать на сайте клуба Feld Hell [4].

Дополнительная информация:

- [1] Frank Dörenberg, «Hellschreiber, what is it?» 2015
<https://www.nonstopsystems.com/radio/hellschreiber-function-operation.htm>
- [2] Murray Greenman, «Hellschreiber Modes - Technical Specifications 1998» (pdf)
- [3] Mark VandeWettering, Hellduino: «Sending Hellschreiber from an Arduino», 2012
<https://brainwagon.org/2012/01/11/hellduino-sending-hellschreiber-from-an-arduino/>
- [4] Feld Hell Club website <https://sites.google.com/site/feldhellclub/>
- [5] Лавриненков И.С. «О формате Feld-Hell», Электронный журнал CQ-QRP #62 (Весна 2018).

1.11 Формат передачи данных «Опера»

Формат передачи данных «Опера» предложен радиолюбителем Жозе Альберто Нито Росом, EA5HVК. Используется ключевание непрерывного колебания CW. То есть это знакомая нам манипуляция On-Off Keying, OOK, используемая в телеграфе и Hellscriber (Feld-Hell).

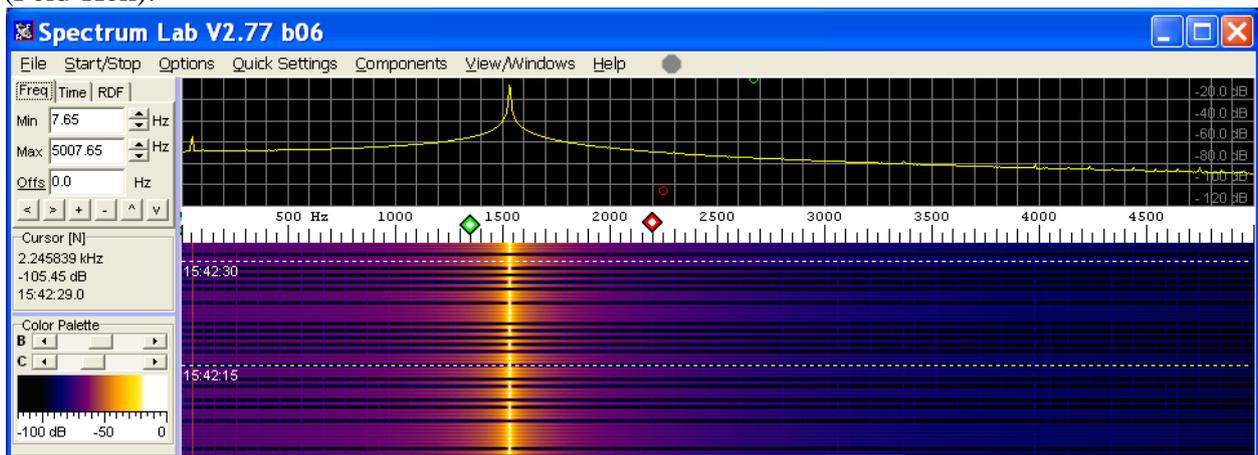


Рис.1.11.1 Пример сигнала «Опера 2» в программе «Spectrum Lab»

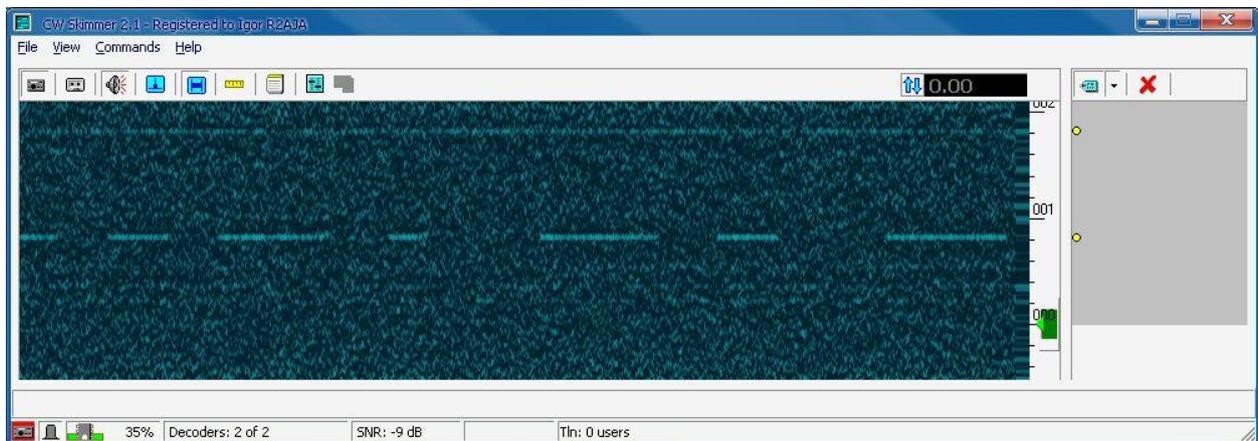


Рис.1.11.2 Пример сигнала «Опера 2» в программе «CW Skimmer»



Для передачи и приёма сообщений Жозе, EA5HVK, разработаны программы: «Opera 1.6.5» и «Opera Generator» (Source Code), рассчитывающая кодирующую последовательность для заданного позывного. В эфир передается только позывной станции.

Например, для позывного R2AJA кодовая строка выглядит следующим образом:

Таблица 1.11.1. Код позывного R2AJA в формате Opera

1011010101001011001011001011010011001100101011010011001101001010110101010010 1010101010110100110010101100110100110101010010110011001101001101010011001011 0101010100101100101101001100110100101101001011001100101100110010101011001101 01010010101

Всего 239 символов. Среди них имеется стартовая последовательность, которая позволяет определить приёмнику начало передачи и её скорость.

Для передачи информации выделяются 51 бит в который входят 28 бит кодирования позывного, 19 бит контрольной суммы и 4 резервных бита. Затем особым образом вводится избыточность.

Предлагаются следующие скорости передачи одного символа:

Таблица 1.11.2. Скорости передачи символов в формате Opera

Название моды	Длительность символа, с.
Opera 05	0.128
Opera 1	0.256
Opera 2	0.512
Opera 4	1.024
Opera 8	2.048
Opera 32	8.192
Opera 65	16.384
Opera 2H	32.768

Цифра в названии моды показывает, сколько минут ведётся одна передача. Итак, наши 239 символов передадутся в режиме Опера 2 за $239 \cdot 0.512 \text{ с} = 122.368$ секунды, что составляет примерно 2 минуты. Битовая скорость в канале $239/122.368 = 1.95$ бит/с, а информационная скорость $28/122.368 = 0.228$ бит/с

Компьютерный софт, подключенный к трансиверу формирует сигнал НЧ на 1500 Гц, т.е. при установленной частоте USB 14062 кГц, сигнал будет передаваться на частоте 14063.5 кГц.

Для приёма сигналов «Опера» следует настроить трансивер на рекомендуемую частоту в режиме USB. При этом программа будет анализировать полосу на НЧ в окрестности 1500 ± 190 Гц, что справедливо для 20М. Для других мод и частот полоса может быть другой. Например, на диапазоне ДВ полоса анализа, отображаемая программой в абсолютных значениях, составляет $137.5 \text{ кГц} \pm 50 \text{ Гц}$.

При использовании совместно с «Opera 1.6.5» самодельных приёмников прямого преобразования и SDR, необходимо подстроить частоту опорного генератора согласно рис. 1.11.3 (частота USB), т.к. программная коррекция полосы обзора не предусмотрена.

Предлагаемые для работы частоты не совсем вписываются в принятые нормативы, скорее всего автор «Оперы» предполагает, что ООК тоже является подвидом телеграфа.

6.5 USB	Op4H	Carrier: 8.0 khz
136.0 USB	Op32	Carrier: 137.5 khz
477.0 USB	Op8	Carrier: 478.5 khz
1836.0 USB	Op4	Carrier: 1837.5 khz
3547.0 USB	Op2	Carrier: 3548.5 khz
5289.0 USB	Op2	Carrier: 5290.5 khz
7038.0 USB	Op2	Carrier: 7039.5 khz
10135.0 USB	Op2	Carrier: 10136.5 khz
✓ 14062.0 USB	Op2	Carrier: 14063.5 khz
18105.0 USB	Op2	Carrier: 18106.5 khz
21074.0 USB	Op1	Carrier: 21075.5 khz
24925.0 USB	Op1	Carrier: 24926.5 khz
28070.0 USB	Op1	Carrier: 28071.5 khz
50700.0 USB	Op1	Carrier: 50701.5 khz
70093.0 USB	Op1	Carrier: 70094.5 khz
144180.0 USB	Op05	Carrier: 144181.5 khz
432090.0 USB	Op05	Carrier: 432091.5 khz
1296600.0 USB	Op05	Carrier: 1296601.5 khz
144474.5 USB	F5ZAL	Fixed Beacon
432418.5 USB	F5ZAS	Fixed Beacon
432478.5 USB	HB9G	Fixed Beacon
1296893.5 USB	F5ZAN	Fixed Beacon
1296963.5 USB	ED5YAE	Fixed Beacon

Рис.1.11.3 Частоты и моды сигналов «Опера»

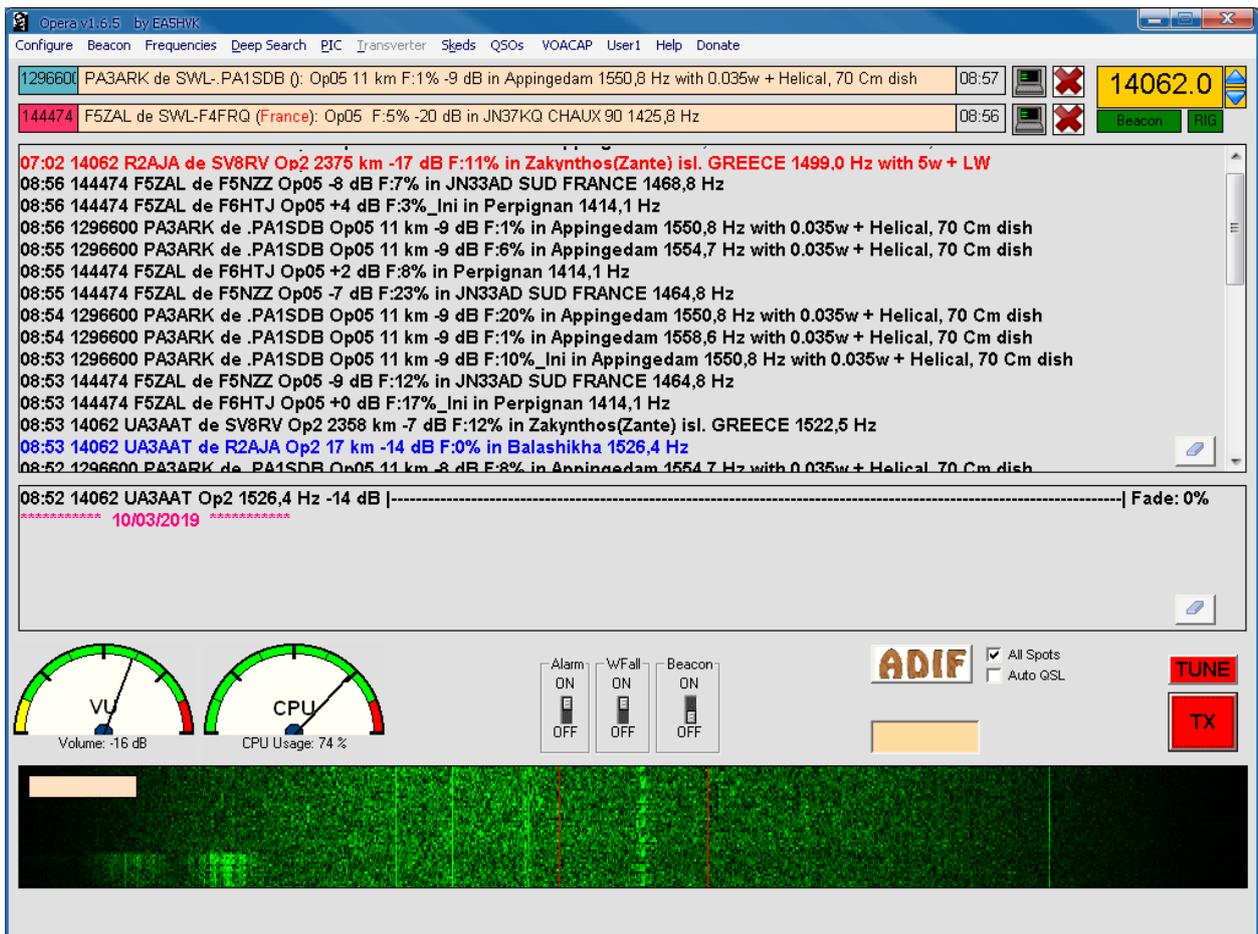


Рис.1.11.4 Интерфейс программы «Opera 1.6.5»

Красной строкой показано, что маяк R2AJA был принят SV8RV, а также частота приёма и уровень SNR в дБ в полосе 2500 Гц. Дополнительная информация передается по интернету (мощность, расстояние, антенна). В синем цветом отмечена станция UA3AAT, принятая программой с уровнем SNR -14 дБ. Красные линии на водопаде показывают анализируемую полосу.

Опера относится к медленным типам, т.е. её имеет смысл сравнивать с QRSS и WSPR. Скорее всего режим «Опера» можно рассматривать как переходное звено между QRSS и WSPR. Сравнение параметров сигналов Опера с CW, QRSS и WSPR2 представлено в разделе 1.9, табл. 1.9.1.

По сравнению с WSPR – здесь не требуется синхронизация по времени, а в сравнении с QRSS – имеется автоматическая регистрация полученных позывных в базе <http://pskreporter.info>

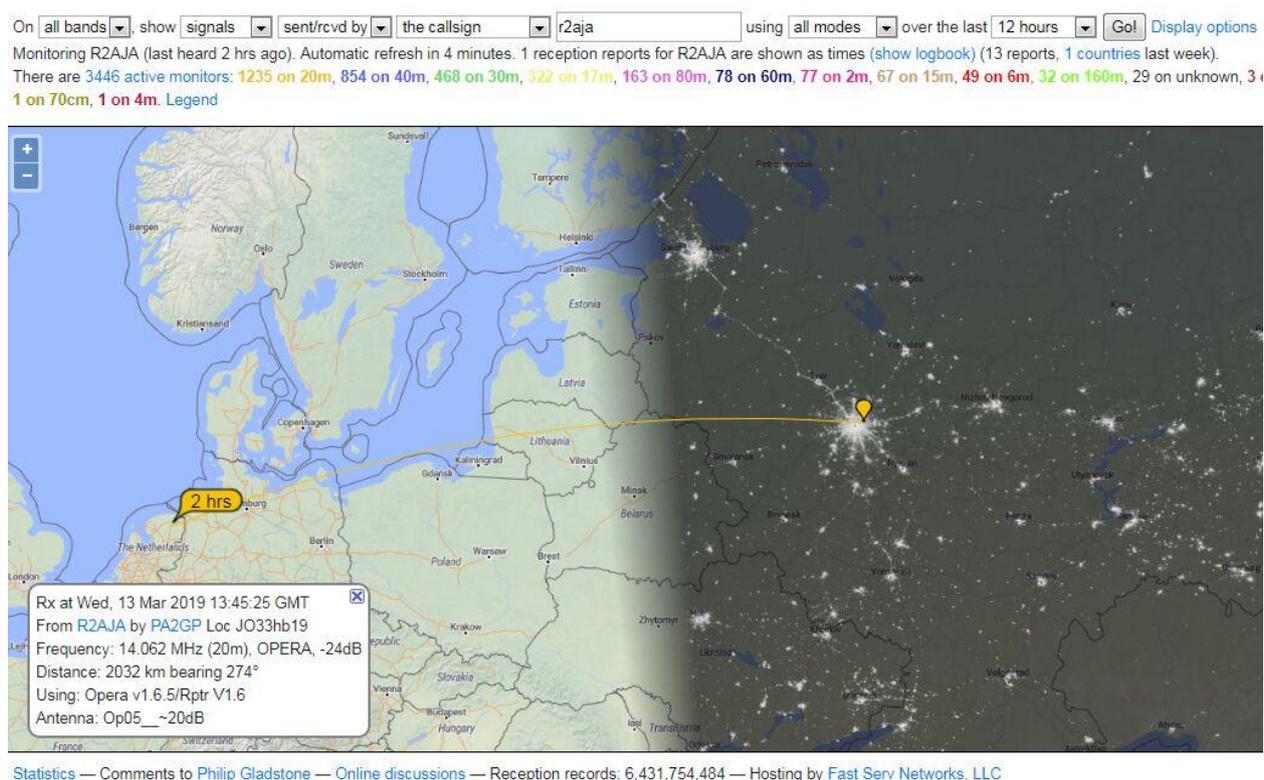


Рис.1.11.5 Окно сайта pskreporter.info с зарегистрированным спотом R2AJA, 20М, 50 мВт

Программирование контроллера маячка на Arduino получается проще, в сравнении с телеграфом или Hellscriber. Допустим, код последовательности вы уже получили из программы «Опера v1.6.5» (кнопка PIC) или программы «Опера Generator». Тогда остается лишь заложить чтение массива значений и управление генератором в текст скетча. Пример прошивки представлен в Приложении В. Управление генератором на 74НС240 инверсное, высокий уровень на управляющем пине, отключает генерацию. Важно также настроить частоту маячка под указанные частотные окна формата «Опера».

Дополнительная информация:

- [1] «Opera Generator» (Source Code) <http://rosmodem.wordpress.com/>
- [2] «Opera v1.6.5» (Weak signal ASK Beacon) <http://rosmodem.wordpress.com/>
- [3] Pieter-Tjerk de Boer, PA3FWM «Signal/noise ratio of digital amateur modes»

1.12 Выбор частоты и времени работы радилюбительского маяка

Выбор рабочей частоты для тестирования маяка следует сделать исходя из возможности радилюбителя подобрать кварцевый резонатор в радилюбительском диапазоне, а также изготовить и установить антенну соответствующего размера. Следует помнить и про влияние солнечной активности на прохождение КВ. Как правило, диапазоны 10 М и 12 М закрыты, однако если они открываются, дальность прохождения КВ будет максимальна, относительно других диапазонов. Диапазоны 15 М, 17 М открыты значительно чаще, а 20 М в светлое время суток доступен почти всегда.

Важно чтобы выбранная частота не мешала проводить связи другим радилюбителям, поэтому для испытаний радилюбительских маяков следует использовать обозначенные частотным планом «окна», либо верхние части диапазонов.

Рабочие окна для маяков с модуляциями WSPR и Feld Hell были обозначены в разделах 1.6 и 1.10.

Прямое назначение маяков - определение наличия прохождения на диапазоне. Учитывая, что чем выше частота, тем реже прохождение, тем интереснее наблюдать появление спотов от ВЧ-маяков. Для экспериментов с телеграфными маяками международным радилюбительским союзом (IARU) рекомендуется использовать частотное окно в диапазоне 10М от 28.190 до 28.230 МГц, кроме частоты 28.200 МГц, которую используют IBP/NCDXF маяки [1]. Приведем здесь рекомендации, опубликованные официальным координатором IARU по части маяков. [2]

Сообщество IARU рекомендует ограничить деятельность маяков в диапазоне коротких волн. Любые автоматические станции должны включаться под контролем оператора, находится под контролем координатора определенного региона IARU или обладать лицензией на проведение специальных экспериментов.

Оператор маяка несет ответственность за отсутствие побочных излучений, это особенно важно на диапазоне 30М, который выделен радилюбителям на вторичной основе.

На протяжении многих лет служба любительских радиомаяков играет важную роль в предоставлении радилюбителям и наблюдателям о наличии прохождения радиоволн. Определенные частоты зарезервированы для маяков в плане диапазона IARU для полос диапазонов от 20М до 10М.

Такие распределения не производятся для частот ниже 14 МГц, за исключением 7 МГц в субэкваториальной Африке, где действуют особые условия. Тем не менее, по общему мнению, национальных обществ в регионе IARU 1, маяки в непрерывном автоматическом режиме на диапазонах от 1,8 до 10 МГц не нужны, и даже при низкой мощности они могут быть причиной вредных помех для нормальной работы и раздражения операторов на этих диапазонах. Это легко заметно на примере диапазона 160М, где частоты, активно используемые для передачи телеграфом от 1810 до 1840 кГц, т.е. полоса всего 30 кГц, и для диапазона 40М, где для телеграфа пользуются от 7000 до 7040 кГц, т.е. всего 40 кГц, что заметно меньше, чем на других диапазонах.

В последние годы на низкочастотных диапазонах действует ряд маяков. Они не имеют четко определенной цели и не являются частью какой-либо скоординированной программы развития. Занимаемые ими полосы частот сильно загружены, а характеристики распространения уже достаточно хорошо исследованы и довольно предсказуемы.

Этот вопрос обсуждался на конференции IARU 2005 года, которая приняла предложение датского национального общества EDR о дискредитации работы маяков в коротковолновых диапазонах 30М и 40М. Теперь это официальная политика IARU первого региона. К обществу радилюбителей обращена просьба приложить все усилия для обеспечения выполнения данной просьбы. Настоятельно рекомендуется не сообщать о сигналах несанкционированных маяков и не обнаруживать их на веб-кластере.

Исключением из этого общего правила являются радиомаяки, используемые в связи с исследовательским проектом по распространению, одобренным соответствующим

национальным обществом и координатором радиомаяков ВЧ, и подлежащие рассмотрению на последующей трёхгодичной региональной конференции. Обычно любой такой проект осуществляется в течение ограниченного периода времени.

Конференция согласовала исключение из общего правила в случае передач маяка DK0WCY [3] на 3,5 МГц и 10 МГц. Существует возможность расширения сервиса DK0WCY путем разделения по времени занимаемых им частот с другими аналогичными станциями, чтобы обеспечить в режиме реального времени данные о МПЧ из других мест. Любой желающий изучить возможность такого развития событий должен связаться с менеджером DARC HF (и руководителем команды DK0WCY) Ульрихом DK4VW.

Хотя решение конференции конкретно не касалось 1,8 и 3,5 МГц, однако на них также следует не поощрять работу маяков. Ещё ранее по региону 1 IARU объявлялось, что постоянно-работающие маяки не должны быть установлены на частотах в районе 137 кГц.

Если вы заинтересованы в проектировании или эксплуатации маяков, существуют следующие рекомендации:

1) строительство маяков для стран, которые не охвачены IBP/NCDXF и где местные операторы не в состоянии построить маяк;

2) тестировать маяки, которые используют общую частоту (аналогичную существующей сети IBP/NCDXF), что позволяет экономить спектр;

3) проектирование и строительство технически более совершенных маяков для замены маяков раннего поколения.

Мы всегда должны осознавать, что маяков уже много и наши частоты ограничены. Соответственно, перед началом нового проекта мы всегда должны спросить себя, какова его цель и что он добавит к нашему хобби?

Приведенные выше рекомендации не являются окончательными, т.к. частотные планы могут пересматриваться как международными, так и внутренними руководящими организациями в области радиосвязи. Поэтому всегда следует сверяться с актуальным частотным планом, предлагаемым в Вашей стране [4] и IARU [5].

Также следует помнить о ограничениях по продолжительности непрерывной работы таких маяков. [4]

Дополнительная информация:

[1] «IBP/NCDXF» <http://ncdxf.org/beacon/>

[2] «HF Beacon Coordinator» <https://www.iaru-r1.org/index.php/beacons/beacons>

[3] Лавриненков И.С. «Маяк DK0WCY расскажет о космической погоде», Электронный журнал CQ-QRP #55 (Лето 2016)

[4] «Регламент любительской службы радиосвязи в Российской Федерации.»

[5] «International Amateur Radio Unity (IARU)»

<https://www.iaru-r1.org/index.php/spectrum-and-band-plans/hf>

Глава 2. Приёмные устройства: работа с SDR и скиммерами

2.1 SDR – приёмник ZetaSDR

В настоящее время приёмники по технологии Software Defined Audio (SDR) широко применяются как в любительской, так и профессиональной технике.[1] Принципы этой технологии рассмотрим на популярной схеме SDR-приёмника, известной под названием ZetaSDR рис. 2.1.1. [2]

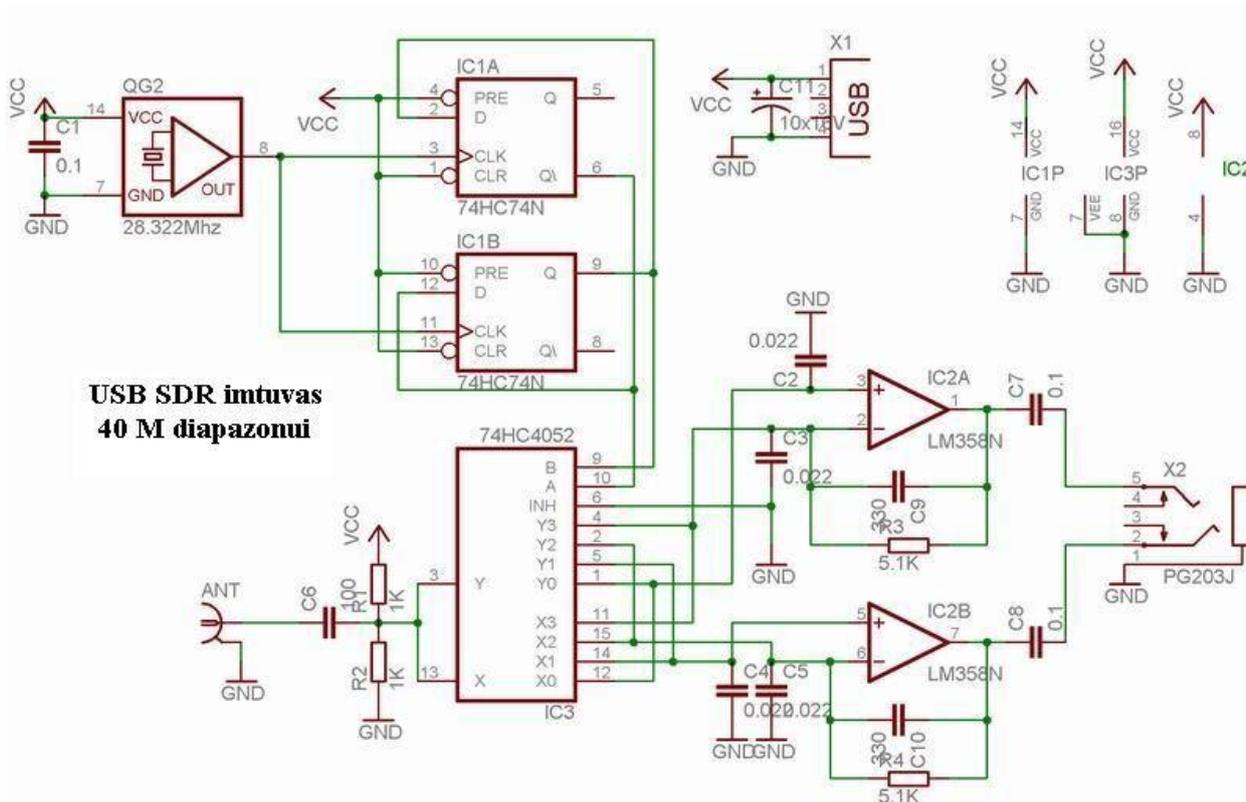


Рис. 2.1.1. Принципиальная схема приёмника ZetaSDR

В состав приёмника входят: генератор, делитель частоты, смеситель на ключах, УНЧ. Применены микросхемы серии 74НС, поэтому на всех цифровых входах и выводах циркулируют CMOS уровни логических нулей (L) и единиц (H).[3]

Частота кварцевого генератора QG2, должна быть в 4 раза больше принимаемой частоты. Для диапазона 40М и средней частоты приёма (частота локального осциллятора или F.l.o.) 7.017 МГц частота генератора составляет 28.069 МГц. Меандр с генератора поступает на микросхему 74НС74, которая является делителем частоты на двух D- триггерах [4]. В данной схемотехнике она обеспечивает не только деление частоты, но и сдвиг полученных сигналов на 90 градусов. Приведем вид сигналов на входе и выходе делителя частоты из модели «Micro-Cap» см. рис. 2.1.2.

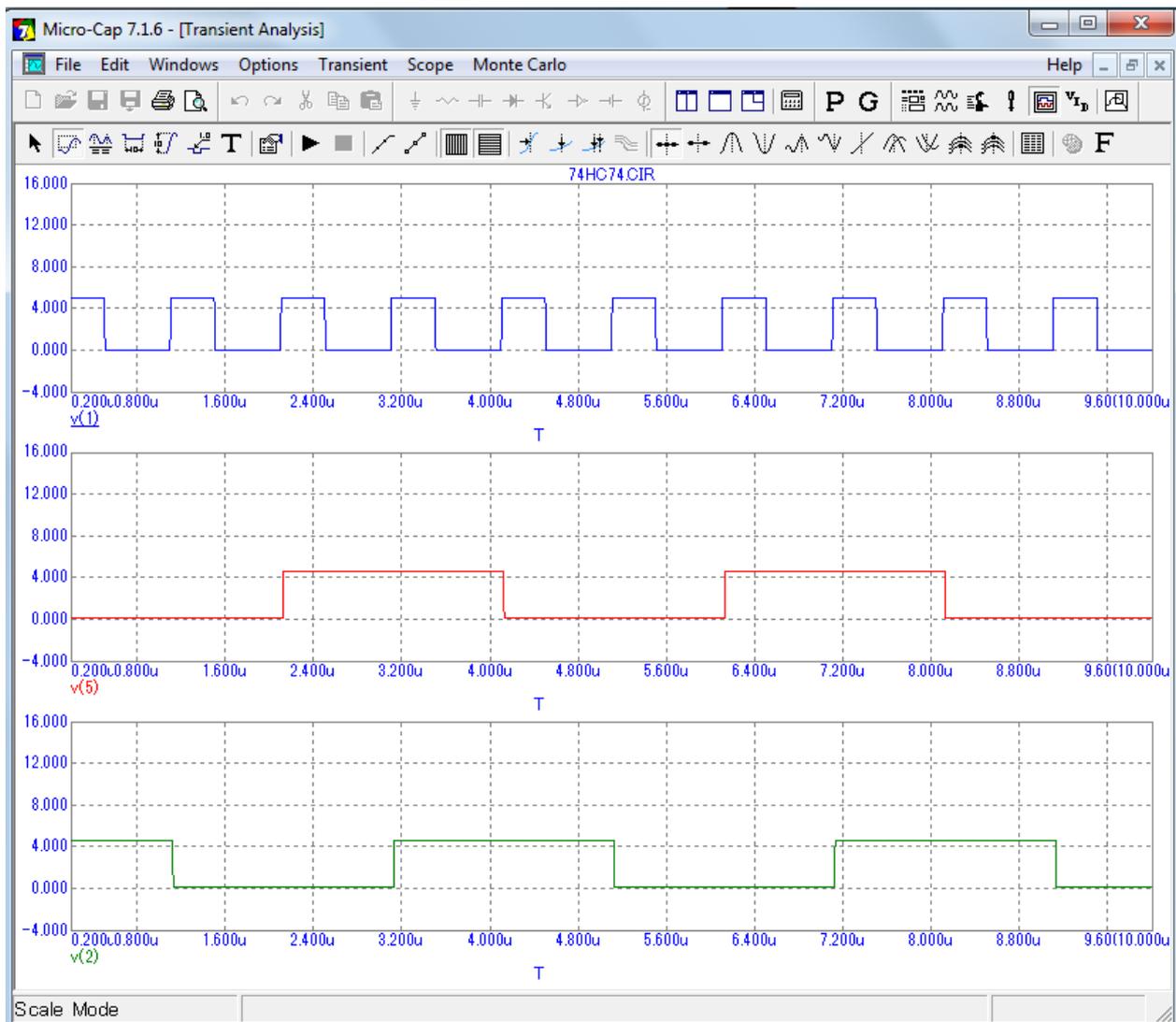


Рис. 2.1.2. Осциллограммы сигналов на входе и выходах делителя частоты (модель «Micro-Cap»)

Синим показан входной сигнал, красным и зеленым – квадратурные выходные сигналы.

Смеситель сигналов собран на мультиплексоре 74НС4052. Он работает на принципе смесителя Тэйлоу (Смеситель на ключах), т.е. выполняет коммутацию сигнала от антенны на выходы мультиплексора. Смеситель состоит из двух полукомплектов. Его входы (Y и X), а также выходы (Y0-Y3, X0-X3) попарно запараллелены.

Переключения мультиплексора могут быть описаны табл. 2.1.1.

Таблица 2.1.1. Состояния переключений мультиплексора.

B	A	Connection
L	L	Y->Y0, X->X0
L	H	Y->Y1, X->X1
H	L	Y->Y2, X->X2
H	H	Y->Y3, X->X3

Полученные сигналы (I и Q) со смесителя поступают на двухканальный операционный усилитель, на микросхеме LM358 или (NE5532), и далее, через разделительные ёмкости на стерео-вход звуковой карты (Audio-IN).

Можно применять малощумящий ОУ NE5532, при этом немного улучшаются шумовые характеристики приёмника. Для использования этой микросхемы следует заменить R3,R4 на 3.3 кОм, C9, C10 на 1 нФ, C2,C3,C4,C5 на 0.015 мкФ.

Существующие в продаже микросхемы выпускаются в корпусах SO (поверхностный монтаж) и DIP. Можно использовать любой доступный вариант. В своем примере я использую оба варианта корпусов. SO – (триггер и смеситель) для миниатюризации, DIP – для возможности смены ОУ.

Примерный вид печатной платы (поверхностный монтаж) показан на рис. 2.1.3.

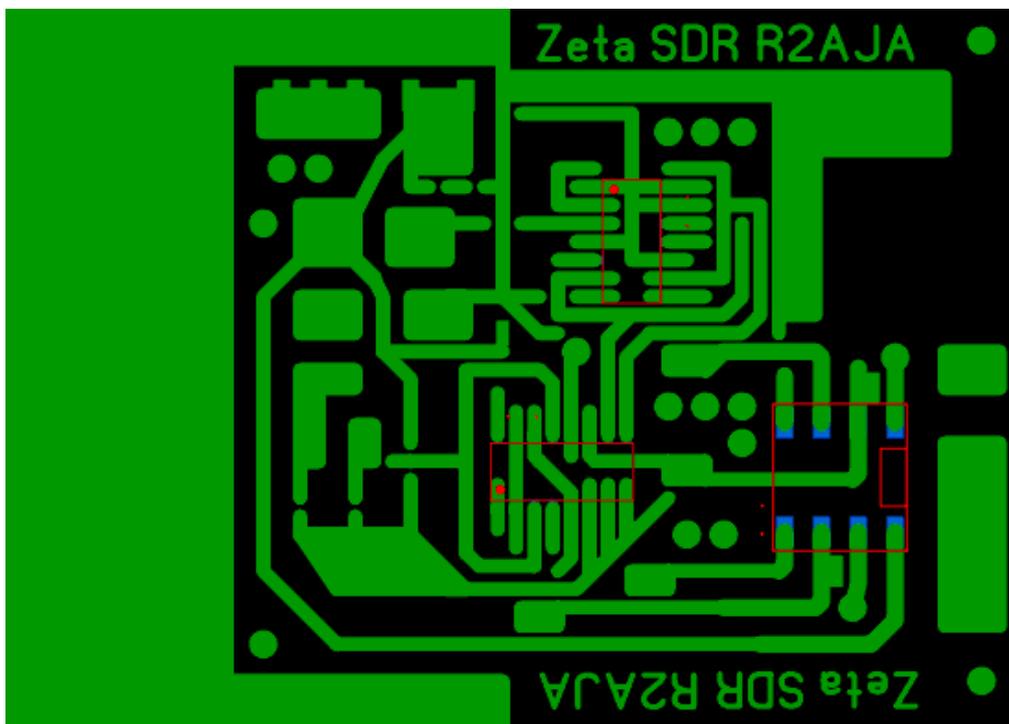


Рис. 2.1.3. Примерный вид печатной платы ZetaSDR

После принесения рисунка на текстолит (ЛУТ), травления, монтажа деталей плата имеет вид как на рис. 2.1.4.



Рис. 2.1.4. Собранная плата ZetaSDR

Плата выполнена в один слой, поэтому дополнительно установлены контактные перемычки.

На плате предусмотрено место для входного П-контура (в нижней левой части). Сам контур не установлен, т.к. данный приёмник испытывался в паре с антенной «Magnetic Loop», обладающей узкой полосой настройки (подробнее о антенне см. глава 3, раздел 3.5). Элементы П-контура можно подобрать по табл. 1.2.2.

На плате предусмотрено место для стабилизатора напряжения на 5 В типа LM78L05.

После подключения питания желательно провести экспресс-проверку работоспособности. Потребление приёмника должно быть около 30 мА.

Естественно, хорошо посмотреть все сигналы осциллографом, но, если его нет, можно обойтись обычным тестером в режиме измерения напряжения DC. Для начала следует убедиться в наличии напряжения питания на дорожке +5 В. Наличие сигнала на выходе генератора определяется напряжением немногим ниже напряжения питания (3.4 В).

Наличие сигналов на выходе триггеров тоже определяется напряжением немногим ниже напряжения питания (3.4 В). Дополнительно, для контроля, можно использовать трансивер. При работающей схеме, должна быть слышна частота генератора (28.069 МГц) и частота с выхода триггеров (7.017 МГц). Сигнал от платы может быть слабым, для его усиления, можно коснуться тонкой отверткой с изолированной ручкой дорожки или проверяемого контакта.

Все три сигнала, снятые на осциллографе, показаны на рис. 2.1.5.

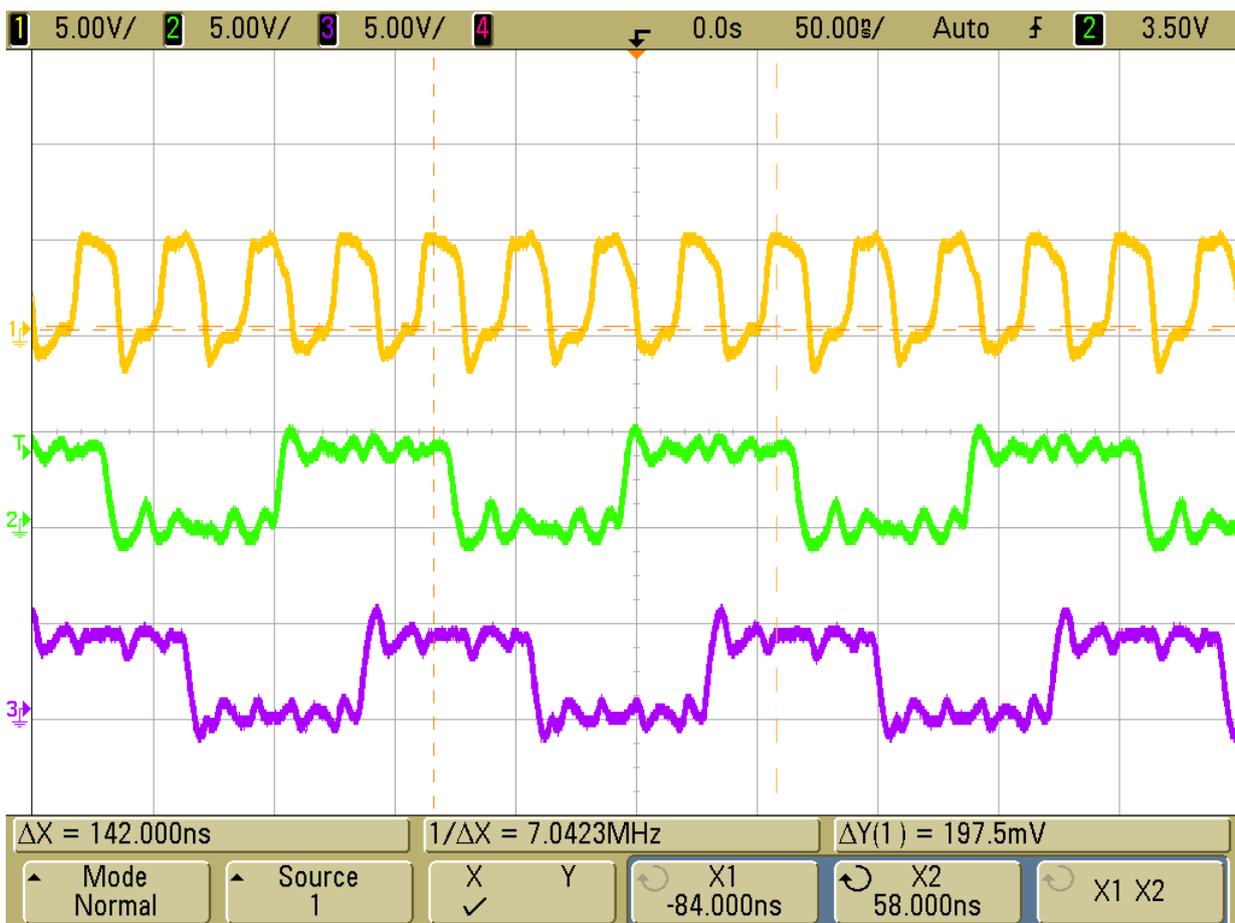


Рис. 2.1.5. Осциллограммы сигналов приёмника ZetaSDR

Заметно присутствие гармоник, в отличие от теоретических осциллограмм. Отметим, что приёмник без хорошего полосового фильтра на входе будет выделять также и частоты кратные частоте опорного генератора (F_{l.o.}), однако чувствительность и степень подавления зеркального канала будет заметно хуже, чем на основной гармонике.

В качестве опорного генератора можно использовать генератор на 74НС240, описанный в разделе 1.2. В этом случае без разделительной ёмкости С6 и ФНЧ сигнал с генератора следует сразу подавать на входы 3,11 триггера 74НС74 см. рис. 2.1.1. Таким образом можно будет изменять частоту Fl.o., изменяя лишь кварцевые резонаторы.

Схему рис. 2.1.1 можно также доработать, чтобы триггер выполнял деление частоты опорного генератора не на четыре, а на два. Для этого перед триггером нужно ввести еще одну логическую микросхему 74НС86 см. рис. 2.1.6.

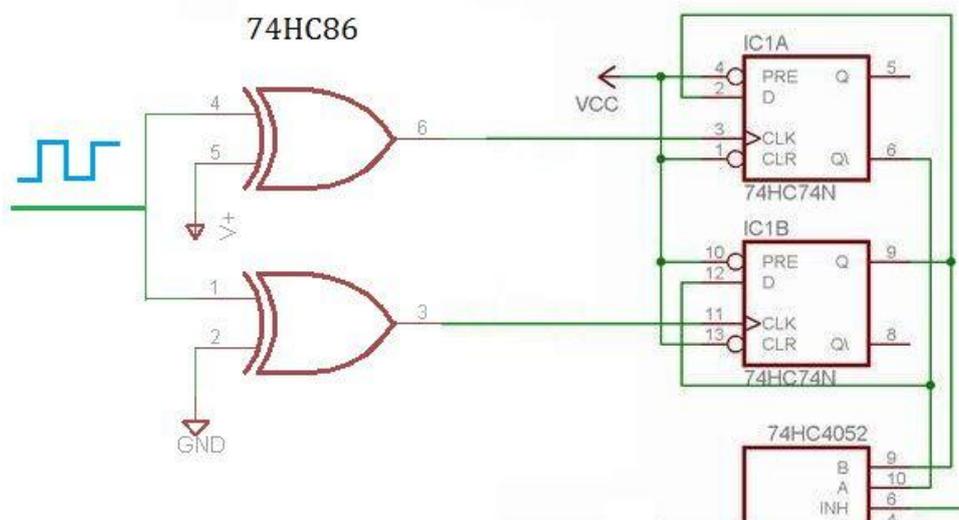


Рис. 2.1.6. Блок деления опорной частоты на два

Это может быть полезно для работы с диапазонами 30М, 20М, для которых частоты опорного генератора будут в районе 20.250 МГц и 28.050-28.600 МГц.

Считаем, что приёмник изготовлен и опробован. Теперь подключаем к его входу согласованную антенну, а выход подключаем ко входу Line-In компьютера. Питание желательно выполнять от аккумулятора, или трансформаторного блока питания. Питание от импульсного источника может внести множество помех, что Вы сразу заметите по водопаду, сравнивая тот или иной вид питания. Поэтому, питание приёмника от USB порта компьютера крайне нежелательно. [5]

Теперь необходимо установить одну из специализированных программ: «SDRadio», «Rocky», «MOKGK», «PowerSDR 1.9.0 sr40», «SDRsharp», «HDSDR».

После запуска любой программы в настройках нужно указать свою аудиокарту как устройство ввода и вывода, чтобы слушать получаемый сигнал. Положение всех регуляторов громкости поставить в среднее положение. Далее выбрать частоту дискретизации, обычно 48кГц. Установить базовую частоту (частота на выходе триггера) L.O. Frequency и нажать кнопку «Приём» или «RX». Теперь можно наблюдать и слушать эфир.

Около L.O. Frequency на спектре может появиться сигнал, зависящий от типа аудиокарты. В окрестности этого сигнала приём затруднен, т.к. мы попадаем в зону нулевых биений, недоступных для воспроизведения.

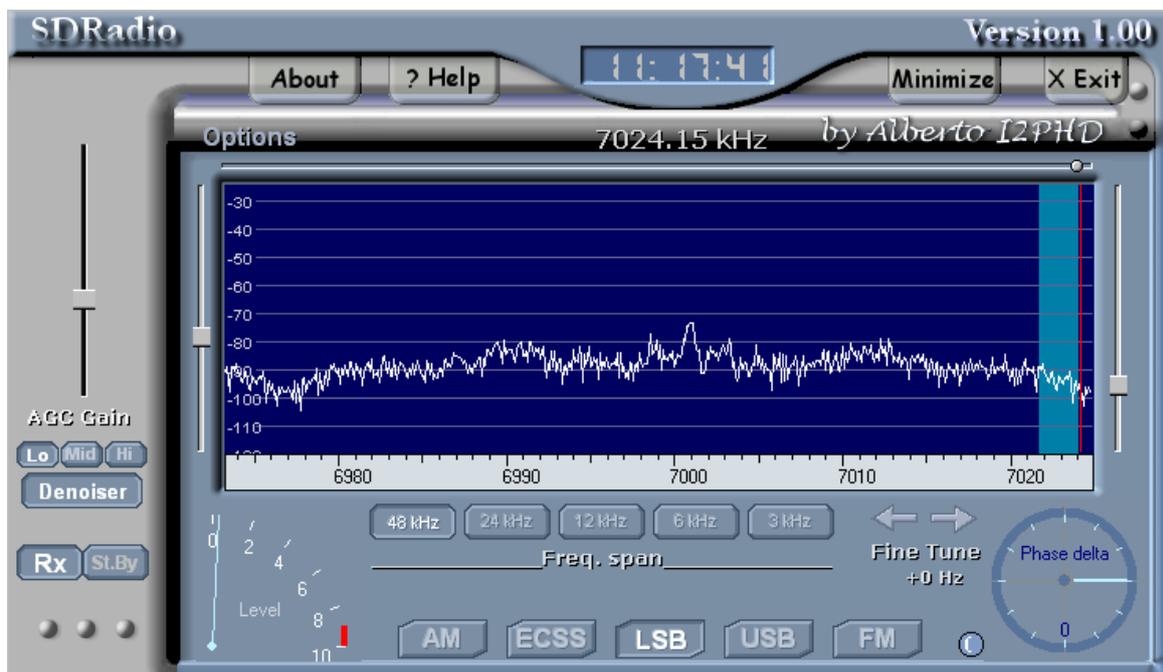


Рис. 2.1.7. Интерфейс программы «SDRadio 1.0»

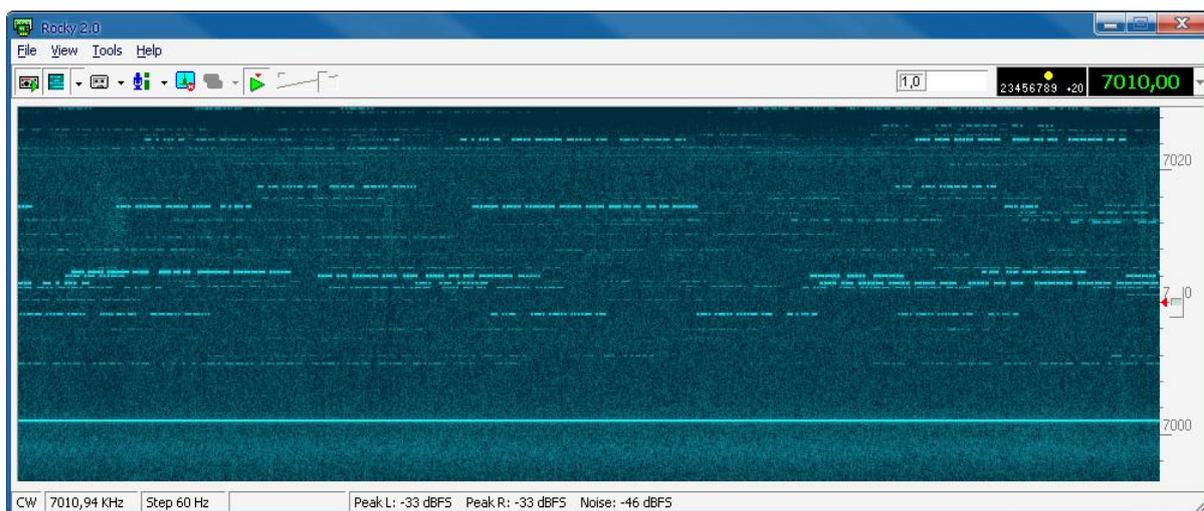


Рис. 2.1.8. Интерфейс программы «Rocky 2.0». Видны CW-передачи в контексте

При использовании программы SDRadio сигнал отображается в виде спектра, а при использовании программы «Rocky» в виде движущегося спектра или «Водопада». см. рис. 2.1.7, рис. 2.1.8.

Практика даст максимальное представление о работе данного приёмника. Попробуйте принимать и слушать любительские передачи телеграфом в режиме CW, телефонией в режимах USB (на диапазонах от 20М и выше), LSB (на диапазонах от 40М и ниже).

Также остается возможность слушать сигналы в окрестности частоты Fl.o. прямо через наушники, но это уже будет двухполосный приём DSB, без всякого подавления зеркального канала. см. рис. 2.1.9.

Разместить плату приемника можно как в системном блоке компьютера см. рис. 2.1.10, так и в отдельном корпусе см. рис. 2.1.11, рис.2.1.12.

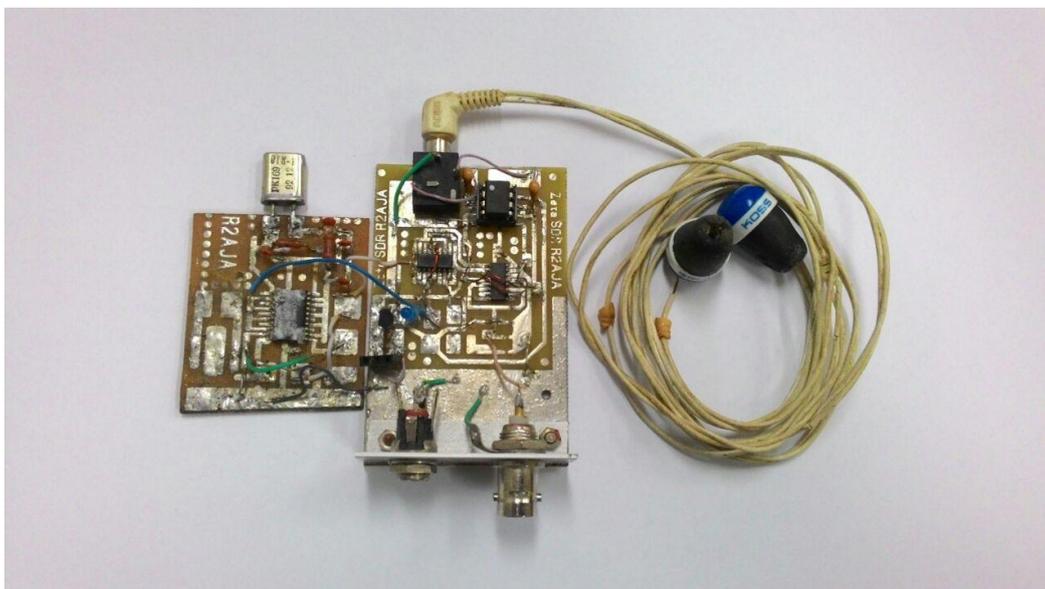


Рис. 2.1.9. ZetaSDR с генератором на 74HC240



Рис. 2.1.10. Интегрированное размещение SDR-приёмника



Рис. 2.1.11. Размещение SDR-приёмника в отдельном корпусе



Рис. 2.1.12. Размещение SDR-приёмника и компьютера

Дополнительная информация:

[1] «Что такое SDR»

http://www.ra4a.ru/publ/priemniki_peredatchiki_transivery/cto_takoe_sdr/14-1-0-23

[2] «Software Defined Radios» <http://www.qrz.lt/lylgp/SDR/indexlt.html>

[3] Лавриненков И.С. «Собираем SDR-приёмник «ZetaSDR»», Электронный журнал CQ-QRP #57 (Зима 2017)

[4] «D-триггер с динамической синхронизацией (счетный триггер)»

<http://begin.esxema.ru/?p=549>

[5] «Использование ZetaSDR совместно с компьютером»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/05/zetasdr.html>

[6] В.В. Кононов ,UA1ACO, «SDR (Software Defined Radio) и антенны EH»

http://ehant.narod.ru/exp_eh17.htm

[7] «Приёмники SDR» <http://rw3ps.qrz.ru/rx1.htm>

2.2 Чувствительность и подавление зеркального канала

Теперь, собрав и познакомившись с работой приёмника ZetaSDR рассмотрим его чувствительность и возможности подавления зеркального канала.

Чувствительность приёмника определяется как минимальный уровень входного сигнала устройства, необходимый для обеспечения требуемого качества полученной информации. Качество может быть оценено заданной битовой вероятностью ошибки (BER), вероятностью приёма ошибочного сообщения (MER) или отношением сигнал-шум SNR (Signal-to-Noise Ratio) на входе демодулятора приёмника [1], которое мы будем рассматривать.

Для дальнейшей работы и анализа использую программу «CW Skimmer», которая помимо функции SDR-приёмника умеет распознавать телеграф и в дальнейшем нам еще много раз пригодится.

Подадим на вход приёмника, непрерывный сигнал с эталонного генератора изменяя его действующее напряжение. см. рис. 2.2.1.

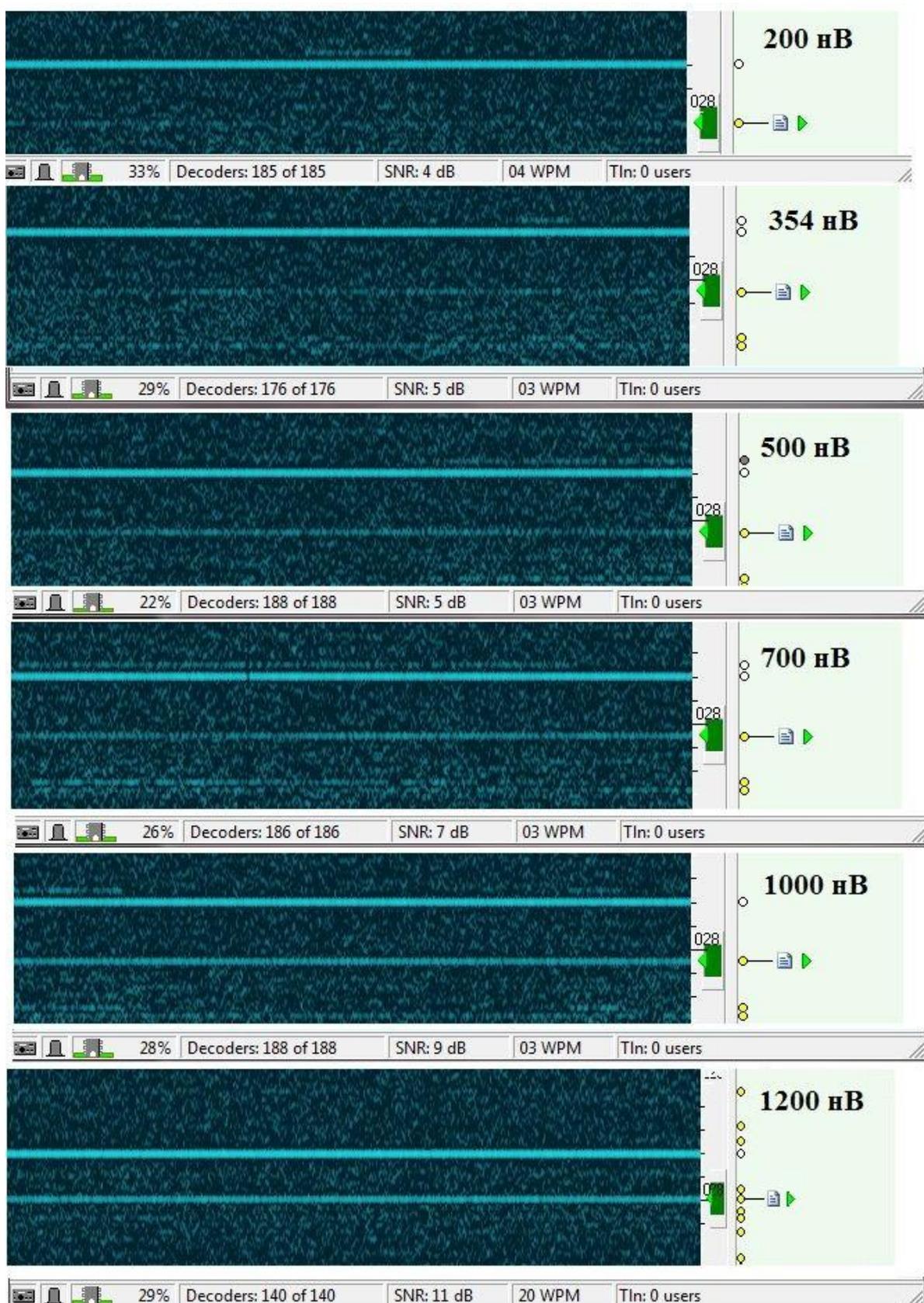


Рис. 2.2.1. Изменение уровня принимаемого сигнала

Жирная линия – зона Fl.o., сам сигнал – напротив зелёной стрелки и полосы выделения «CW Skimmer». Как видим, при входном уровне 200 нВ сигнал выделить среди шума нельзя, однако с увеличением входного уровня он становится всё четче.

Программа «CW Skimmer» показывает относительный уровень получаемого сигнала (статусная строка, SNR) в дБ. Мы видим, что при 200 нВ, сигнал не читается, программа показывает уровень 4 дБ. (считаем его уровнем шума). При 1000 нВ уровень увеличивается до 9 дБ, т.е. на 5 дБ, при этом можно считать, что сигнал полностью разбирается.

Условимся считать в данных измерениях превышение сигнала над шумом на 5 дБ необходимым порогом для точной идентификации сигнала, и тогда 1000 нВ (1 мкВ) можно считать чувствительностью данного приёмника.

Можно отметить, что сигнал виден и при более низких значениях уровня сигнала на входе, но допустим, мы заменим непрерывный сигнал телеграфными посылками, и потери информации при флуктуациях шума станут неизбежными.

SDR-приёмник выполняет прямое преобразование частоты, иными словами сигналы с высоких частот переносятся в область звуковых частот. При этом одной и той же звуковой частоте соответствуют две частоты из области ВЧ. Например, имеем частоту Fl.o. равную 7030 кГц. Частоты 7031 кГц и 7029 кГц после выделения приёмником прямого преобразования попадают на одну и ту же звуковую частоту 1 кГц. Задача программного обеспечения совместно с приёмником поместить на частотной оси две эти разные частоты на свои места. Это становится возможным при комплексном анализе выходных сигналов с SDR-приёмника, полученных смешиванием с опорными сигналами, сдвинутыми по фазе на 90 градусов, т.е. анализе I и Q компонент.

В идеальном случае мы не должны видеть след от сигнала 7031 кГц на отображаемой оси частот в зоне 7029 кГц, справедливо и обратное утверждение. Если же мы видим частоту 7029 кГц в зоне 7031 кГц, но не видим ее на своем законном месте 7029 кГц, следовательно в программе приёма неправильно указано соответствие каналов I/Q = Left/Right. Следует изменить данную настройку.

Как правило, полного подавления зеркального канала достичь не удастся, это связано с неточностью фазового сдвига в 90 градусов в приёмнике, и фазовыми сдвигами в тракте звуковой карты компьютера, а также с неточностью установки уровней каналов I и Q. Последнее можно компенсировать с помощью панели аудиорегуляторов вашего компьютера (баланс). рис. 2.2.2(а) или рис. 2.2.2 (б).

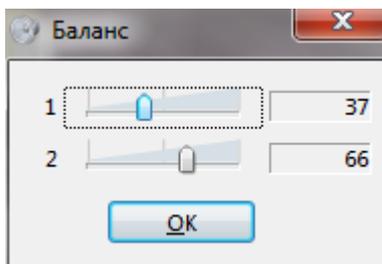


Рис. 2.2.2 (а) Изменение уровней правого и левого канала (I/Q) Windows 7

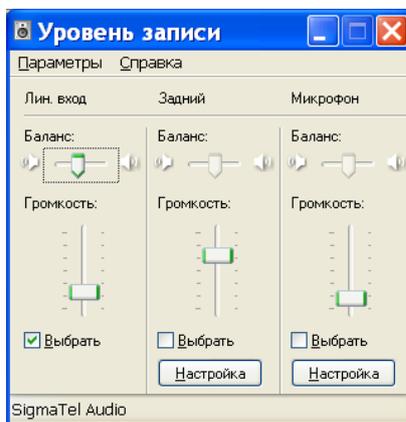


Рис. 2.2.2 (б) Изменение уровней правого и левого канала (I/Q) Windows XP

Одним или двумя ползунками стараемся найти наилучшее положение, при котором зеркальный канал становится наиболее ослаблен. Для примера посмотрим на рис. 2.2.3.

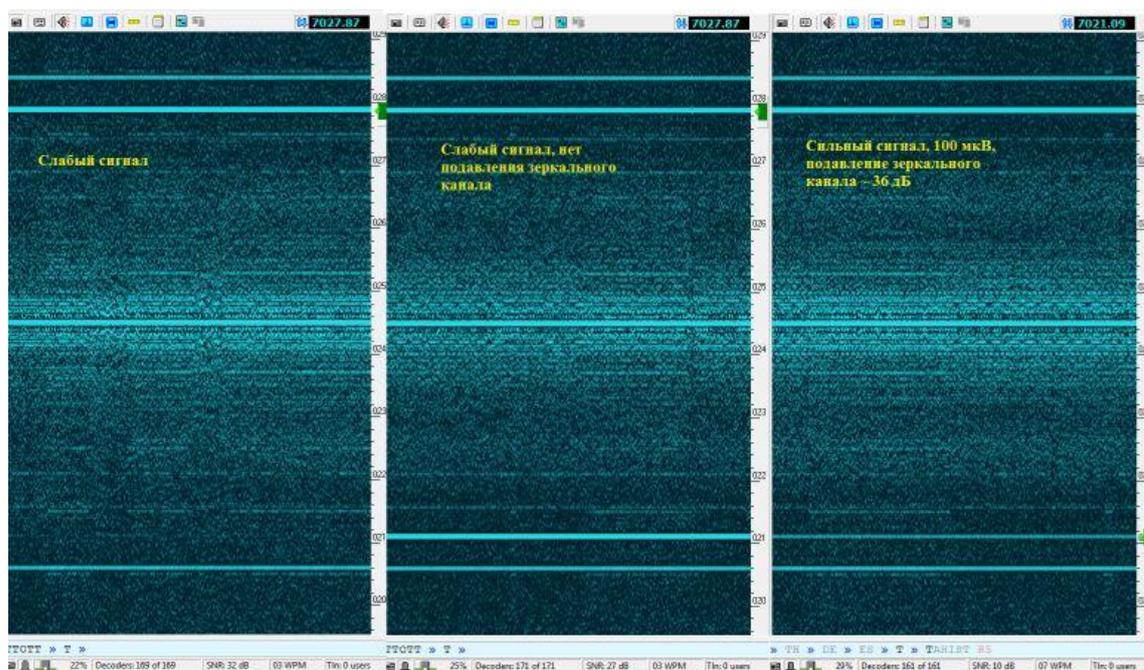


Рис. 2.2.3. Подавление зеркального канала в SDR

По центру отображается частота опорного генератора Fl.o. (частота, получаемая на выходе триггера в ZetaSDR). Анализируемая частота – 7027.9 кГц, частота зеркального канала 7021.1 кГц. На левой картинке показана работа приёмника со слабым сигналом (1 мкВ), принимается основная частота и нет приёма по зеркальному каналу. На средней картинке показан вариант отсутствия подавления по зеркальному каналу. Такое может быть при сильной разбалансировке по амплитуде и фазе или при обрыве одного из каналов приёма (I/Q). На правой картинке показан приём сильного сигнала (100 мкВ), теперь уже хорошо видно, что подавление по зеркальному каналу не полное, однако составило не менее 36 дБ.

Приведем теперь измеренные величины чувствительности и подавления зеркального канала в исследуемом образце ZetaSDR.

Таблица 2.2.1. Чувствительность и подавление зеркального канала

№	Fl.o, Гц	Fтест, Гц	Vсw_skim, мкВ	dZ, дБ
Диапазон 160М				
1	1843300	1844000	0.868	24
2	3686600	3687300	28	3
3	5529900	5530600	10	-20
4	7373200	7373900	58	5
5	9216500	9217200	11	-2
Диапазон 80М				
1	3580450	3581150	1	15
2	7160900	7161600	25	3
3	10741350	10742050	16	-28
4	14321800	14322500	28	9
5	17902250	17902950	31	-18

№	Fl.o, Гц	Fтест, Гц	Vcw_skim, мкВ	dZ, дБ
Диапазон 40М				
1	7050300	7051000	2	13
2	14100600	14101300	20	1
3	21150900	21151600	15	-13
4	28201200	28201900	15	8
5	35251500	35252200	4	7
Диапазон 30М				
1	10125600	10126300	3	3
2	20251200	20251900	51	-4
3	30376800	30377500	8	-3
4	40502400	40503100	34	10
5	50628000	50628700	8	8
Диапазон 20М				
1	14114980	14115680	34	0
2	28230100	28230800	35	0
3	42345150	42345850	35	0
4	56460200	56460900	40	0
5	70575250	70575950	40	0

Здесь

N - номер гармоники гетеродина,

Fl.o – опорная частота, Гц

Fтест – тестовая частота, Гц

Vcw_skim - определенная чувствительность в мкВ.

dZ – подавление зеркального канала в дБ. Отрицательное число показывает, что произошла инверсия фазы относительно первой гармоники, что легко корректируется выбором I/Q=Left/Right в настройках программы – приёмника.

Графа подавления зеркального канала показывает, что можно вести приём на одной из «удачных» гармоник, обеспечив надлежащую фильтрацию необходимого диапазона на входе приёмника. С другой стороны, чувствительность тоже должна быть хорошей, а это возможно практически только для первой гармоники.

Отметим, что значения полученные на другом образце или с другой аудиокартой могут заметно отличаться от приведенных в табл. 2.2.1.

Субъективный контроль чувствительности на слух, показал, что частота оптимального приёма лежит выше 700 Гц, примерно 1000-1800 Гц. Качество наушников, их сопротивление, тоже оказывают влияние на восприятие.

Дополнительная информация:

[1] «Чувствительность приёмника» <http://digteh.ru/WLL/ChustvitPrm.php>

[2] «Оценка чувствительности приёмника ZetaSDR»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/12/zetasdr.html>

[3] «ZetaSDR-M, эксплуатация на 20М в новом корпусе»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/03/zetasdr-m-20.html>

[4] «Измерение чувствительности ZetaSDR-M»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/12/zetasdr-m.html>

[5] «Измерение чувствительности ZetaSDR 40М (ZetaSDR sensitivity)»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/12/zetasdr-40-zetasdr-sensitivity.html>

[6] «Работа ZetaSDR-M на третьей гармонике (3-rd harm) WSPR»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/12/zetasdr-m-3-rd-harm-wspr.html>

2.3 Настройка программ «CW Skimmer» и «RBN Aggregator»

Теперь, познакомившись с основами SDR-приёма поговорим об автоматизации получения телеграфных сигналов. Программа «CW Skimmer» (можно загрузить с сайта <http://dxatlas.com>) анализирует эфир на наличие радиоловительских позывных и при определении конкретного позывного может передать информацию о позывном, частоте, времени и скорости на которой работает телеграфист или маяк в сеть Reverse Beacon Network «RBN». Связь с сервером «RBN» ведется через программу посредник – «Aggregator». Также неплохо установить программу для синхронизации времени компьютера по интернету «Dimension 4».

Рассмотрим вкладки окна «Settings» программы «CW Skimmer».

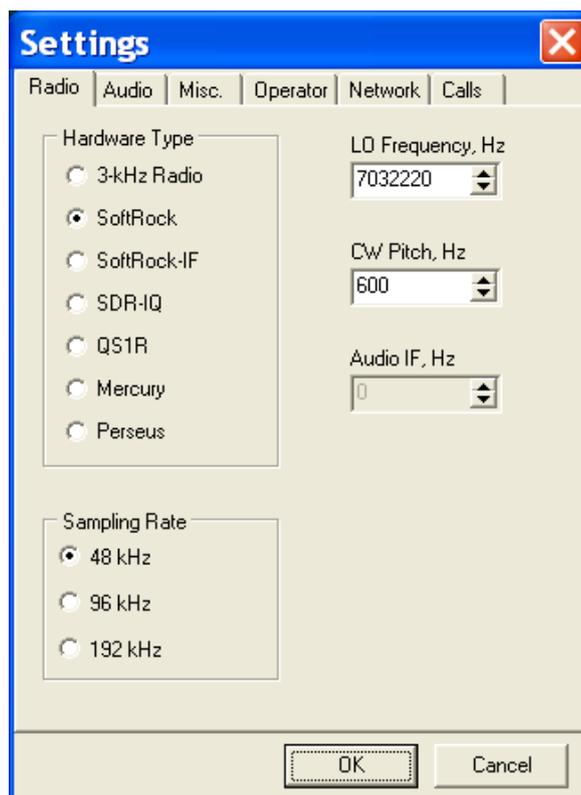


Рис. 2.3.1. Вкладка «Radio»

На вкладке «Radio» выбираем Hardware Type = SoftRock, частоту дискретизации Sampling Rate = 48 кГц. Возможно, Ваша аудиокарта может работать и на большей частоте дискретизации, тем самым диапазон покрытия частот вашим скиммером расширится. Проверить это можно, выбрав большую частоту дискретизации, и посмотреть на уровни шумов водопада «CW Skimmer», если карта неспособна работать с большой частотой дискретизации, это хорошо видно по резкому спаду уровня сигналов за пределами стандартной полосы ± 24 кГц. В окошко LO Frequency указываем опорную частоту (частота с выхода триггера в ZetaSDR) в Гц. Приёмник сможет обрабатывать сигналы с частотами $\Delta F = F_{l.o.} \pm (F_{sample}/2)$. Следует уделить особое внимание определению частоты $F_{l.o.}$. Это можно сделать, используя промышленный трансивер или сравнивая частоты спотов Вашего скиммера и других скиммеров по интернет. При наличии трансивера можно принять и определить частоту $F_{l.o.}$, а можно и передавать сигнал на нагрузку, одновременно принимая его на SDR. При совмещении на водопаде сигнала вашего передатчика и частоты $F_{l.o.}$ запоминаем значение частоты, которое подскажет ваш трансивер.

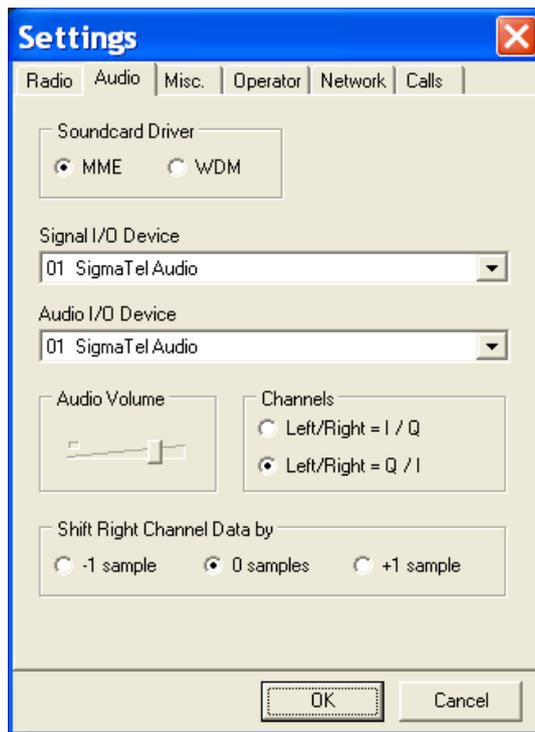


Рис. 2.3.2. Вкладка «Audio»

На вкладке «Audio» выбираем Soundcard Driver MME, Signal и Audio I/O Devices аудиокарту, используемую в вашем компьютере. Audio Volume можно установить в среднее значение. Кнопки «Channels» показывают, левый или правый аудиоканала считать прямым или квадратурным. Определяется экспериментально. При неправильной настройке принимаемые частоты будут отображаться зеркально частоте F1.0. Shift Right Channel Data – сдвиг сэмплирования звуковой карты. Обычно устанавливается нулевой сдвиг, но на некоторых аудиокартах может потребоваться изменить это значение на -1 или +1.

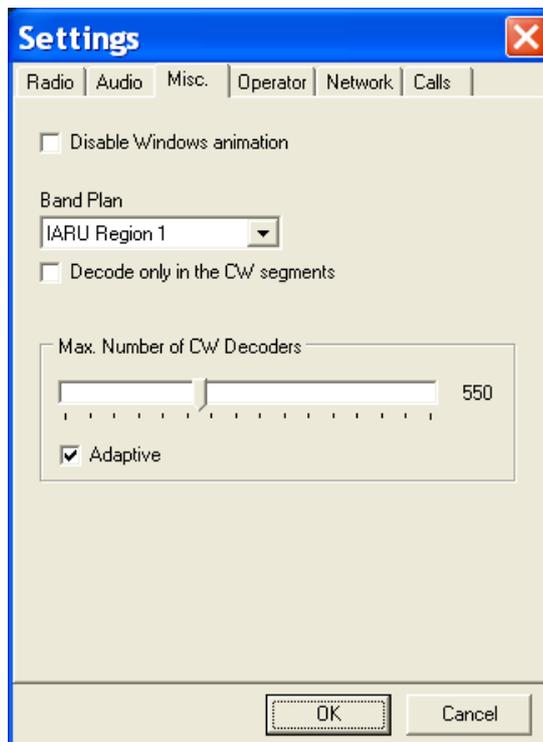


Рис. 2.3.3. Вкладка «Misc»

На вкладке «Misc» Вы можете указать частотный план вашего региона (необязательно), а также выбрать число программных декодеров телеграфа. Большое число сильнее загружает процессор, но если число указано небольшое, скиммер не сможет распознать всё множество телеграфных сигналов в полосе приёма. Можно установить галочку «Adaptive», чтобы количество декодеров определялось автоматически.

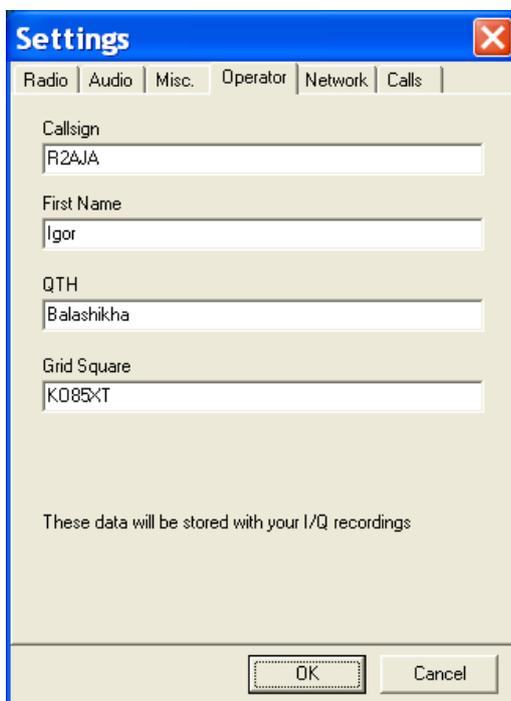


Рис. 2.3.4. Вкладка «Operator»

На вкладке «Operator» Вам следует указать позывной или идентификатор вашего скиммера, имя владельца, местоположение (город), координаты в виде WW локатора.

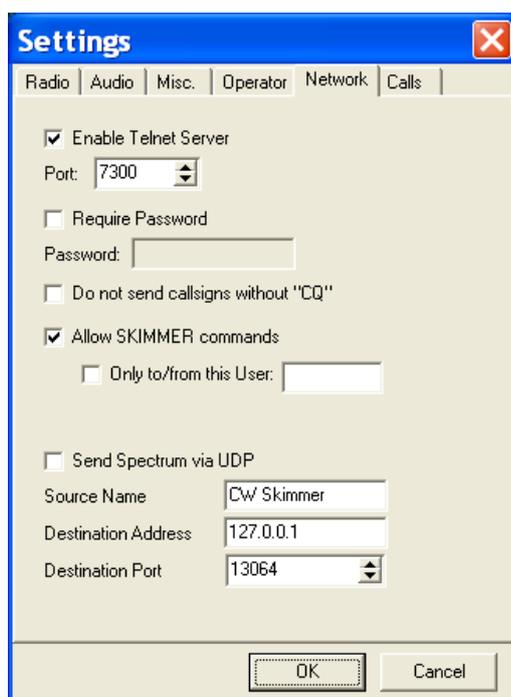


Рис. 2.3.5. Вкладка «Network»

На вкладке «Network» ставим галочки «Enable Telnet Server» и «Allow SKIMMER commands». Это необходимо для связи с программой «RBN Aggregator». Если вы установите галочку «Do not send callsigns without «CQ»», то скиммер будет отсылать только споты содержащие признак оператора, а маяки фиксировать не станет.

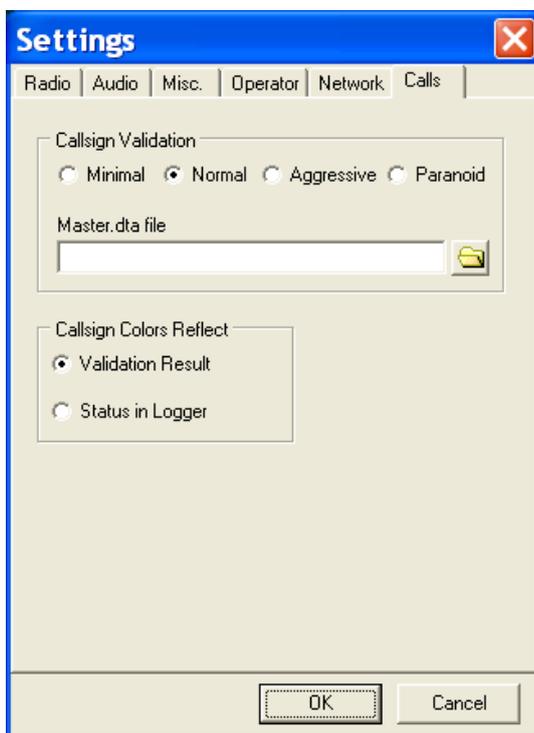


Рис. 2.3.6. Вкладка «Calls»

На вкладке «Calls» указываем Callsign Validation = Normal. Данная настройка определяет насколько сильно скиммер проверяет соответствие декодированного позывного реальному. В минимальном варианте сверяется несколько повторов позывного, в максимальном – правильность позывного будет сверяться с файлом-базой позывных и, если декодированного позывного не окажется в списке, скиммер отклонит его.

«CW Skimmer» имеет встроенное средство программной подстройки фазы и баланса в каналах I/Q, который анализирует сильные сигналы и ищет оптимальные величины коррекции. Можно включить данную функцию, но для разных рабочих частот и приёмников следует сбрасывать эти данные, т.к. оптимальные настройки могут быть различны.

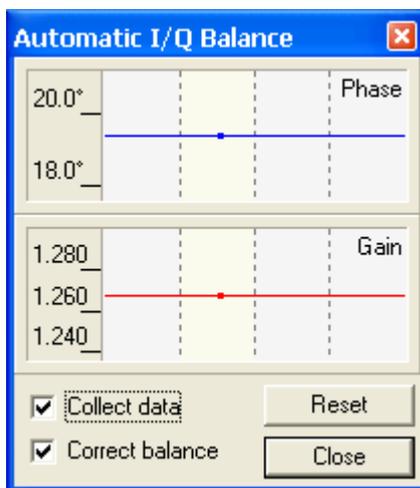


Рис. 2.3.7. Автоматическая коррекция баланса каналов I/Q

Когда все настройки выполнены, нажимаем кнопку в левом верхнем углу «Start/Stop Radio». Также имеет смысл установить в нажатое положение кнопку «Anti-click».

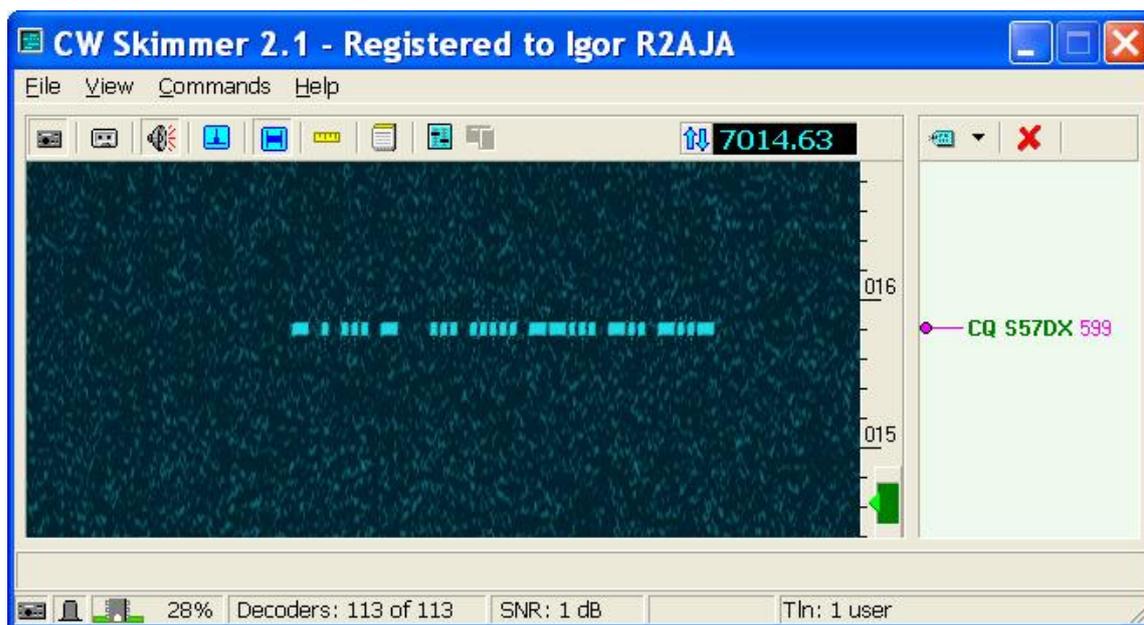


Рис. 2.3.8. Окно программы «CW Skimmer»

Программа точками помечает места на водопаде где, происходят попытки распознавания сообщений. Например, на рис. 2.3.8. видно, что в процессе работы был выделен позывной S57DX.

Теперь можно свернуть программу «CW Skimmer» и запустить программу «RBN Aggregator», последнюю версию которой можно скачать с сайта <http://reversebeacon.net/> Рассмотрим вкладки программы «RBN Aggregator».

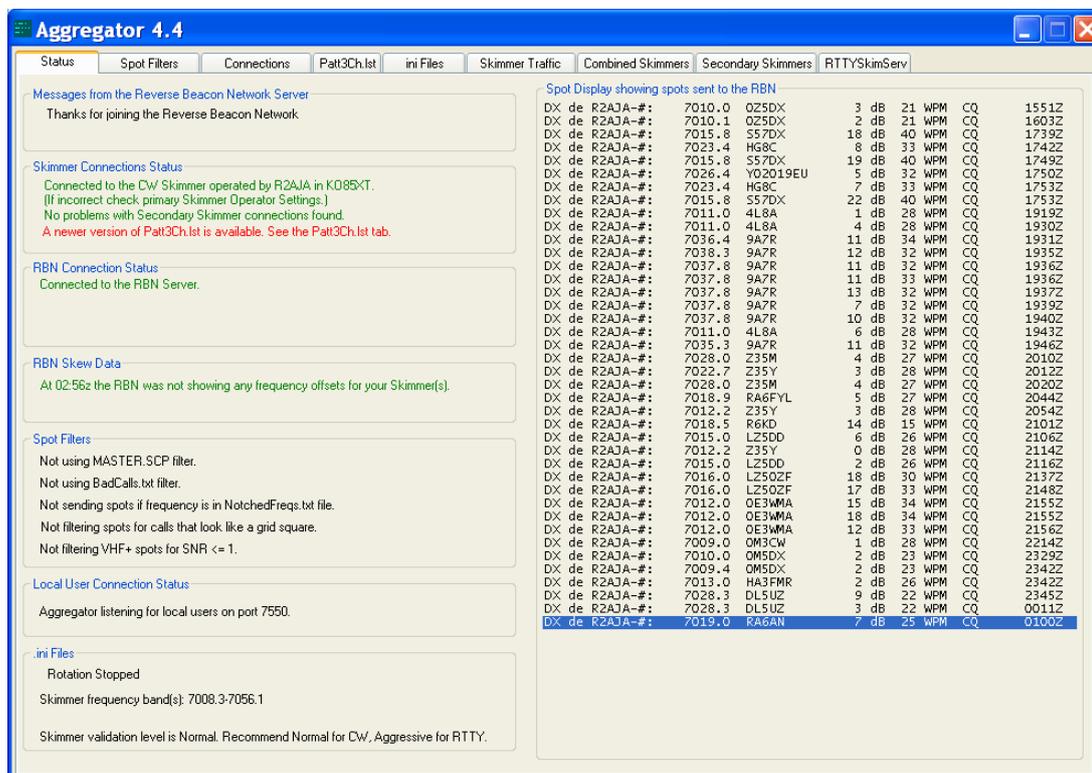


Рис. 2.3.9. Вкладка «Status»

В этой вкладке будут отображаться переданные в сеть «RBN» зафиксированные позывные.

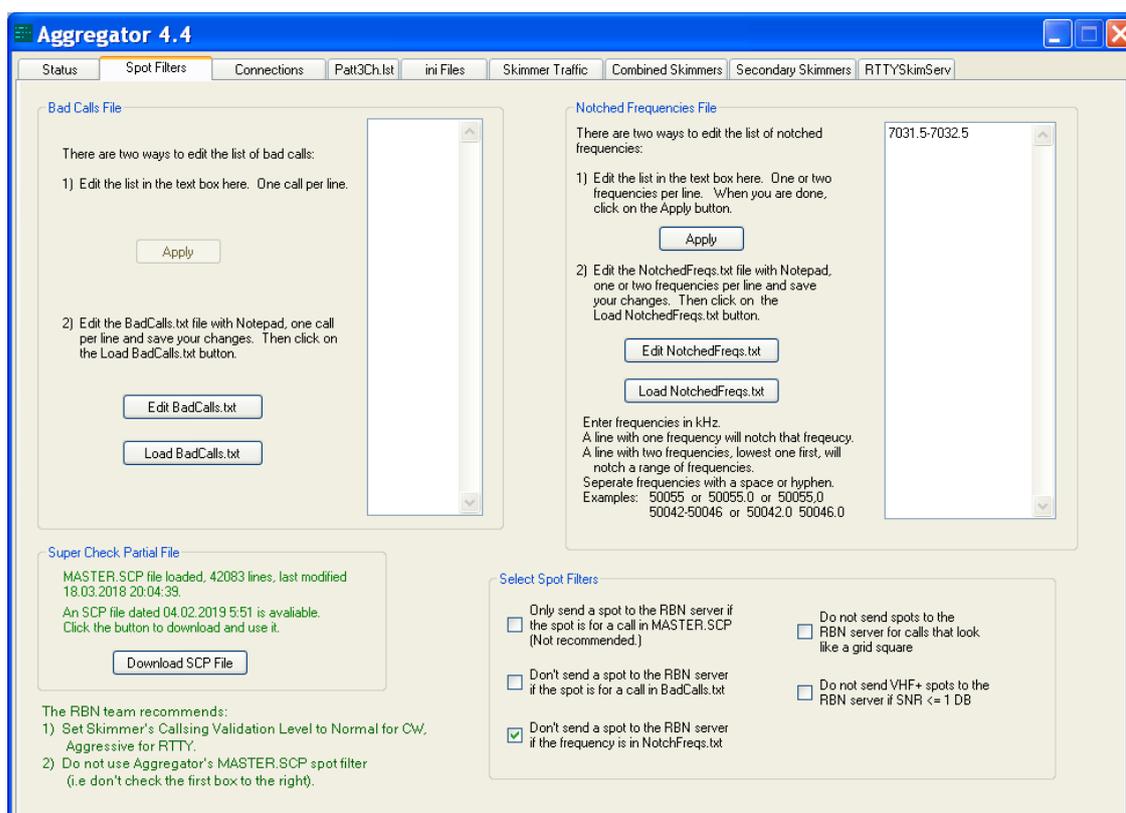


Рис. 2.3.10. Вкладка «Spot Filters»

В окошке Notched Frequencies File указываем частоты, споты с которых агрегатор не будет передавать в сеть «RBN». Например, можно указать окрестность частоты Fl.o. или области постоянно присутствующих на водопаде помех. Это позволит минимизировать передачу на сервер ошибочно декодированных позывных. После указания частот нажимаем «Apply».

В окошке Bad Calls File указываем позывные, которые не следует отправлять на «RBN» и нажимаем «Apply», это может потребоваться при проведении некоторых экспериментов с передатчиками и маяками. Или, например, если какая-нибудь помеха постоянно декодируется как позывной.

Super Check Partial File – файл-база позывных, которые встречались и фиксируются сетью «RBN».

Select Spot Filters – фильтры:

- Отправка спотов только по списку Master.scp;
- Запрет отправки спотов, если позывной есть в списке «Bad Calls»;
- Запрет отправки спотов, если частота спота есть в списке «Notched Frequencies»;
- Запрет отправки спота, если позывной похож на WW локатор;
- Запрет отправки спота на УКВ, если SNR < 1 дБ.

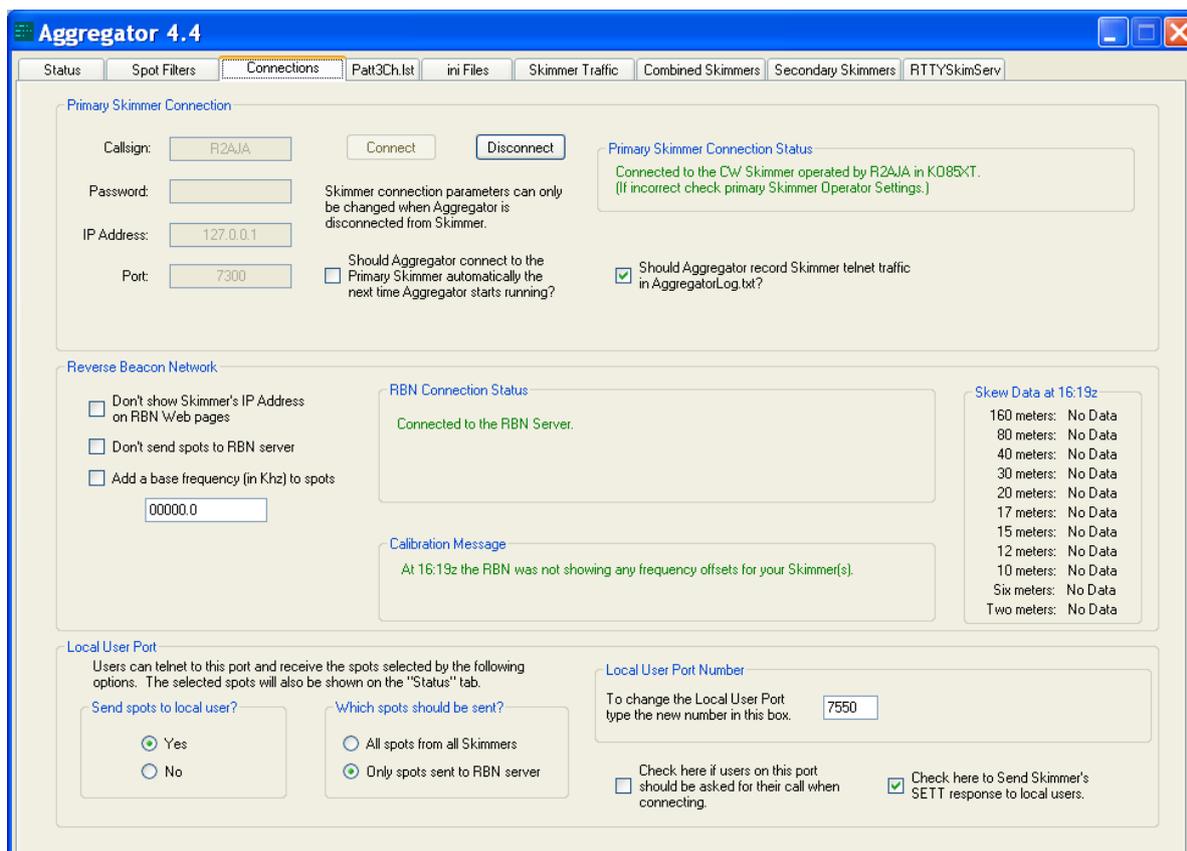


Рис. 2.3.11. Вкладка «Connections»

На вкладке «Connections» указываем позывной или идентификатор скиммера. Пароль, IP-адрес и порт не меняем. Также есть опции «Автоматическое подключение к «CW Skimmer» при старте программы» и «Сохранение переданных данных между «CW Skimmer» и Aggregator в текстовый файл». Теперь нажимаем «Connect». Через некоторое время должна загореться надпись «Connected to the «CW Skimmer»».

Подключение к «RBN» серверу выполняется автоматически. Должна загореться надпись «Connected to the RBN Server».

Слева доступны опции «Не показывать IP вашего компьютера сети RBN», «Не отправлять споты на RBN», «Добавлять базовую частоту к спотам». Последняя опция предназначена для SSB приёмников с полосой 2.5 кГц, позволяет совместить звуковую частоту с частотой радиодиапазона.

Другие вкладки «RBN Aggregator» читатель может рассмотреть самостоятельно. Их использование пригодится для построения более сложных приёмных систем.

Осталось подключить диапазонную антенну и подать питание на приёмник. Появляющиеся регистрации будут отображаться в окне Агрегатора «Status», а также на сайте «RBN» через меню «dx spots > spot search» или по запросу <http://www.reversebeacon.net/dxsd1/dxsd1.php?f=0&c=r2aja&t=de>, где R2AJA – позывной или идентификатор вашего скиммера см. рис. 2.3.12.

DE = R2AJA spots - Reverse

reversebeacon.net/dxsd1/dxsd1.php?f=0&c=r2aja&t=de

REVERSE BEACON NETWORK SSN:0 SF:70 A:10 K:2 callsign lookup:

welcome main dx spots nodes FT8 downloads about contact us

show/hide my last filters

showing spots for spotter call: R2AJA rows to show: 100

search spot by callsign

de	dx	freq	cq/dx	snr	speed	time
R2AJA	RA6AH	7019.0	CW CQ	7 dB	25 wpm	0100z 07 Feb
R2AJA	DL5UZ	7028.3	CW CQ [LoTW]	3 dB	22 wpm	0011z 07 Feb
R2AJA	DL5UZ	7028.3	CW CQ [LoTW]	9 dB	22 wpm	2345z 06 Feb
R2AJA	HA3FMR	7013.0	CW CQ [LoTW]	2 dB	26 wpm	2342z 06 Feb
R2AJA	OM5DX	7009.4	CW CQ	2 dB	23 wpm	2342z 06 Feb
R2AJA	OM5DX	7010.0	CW CQ	2 dB	23 wpm	2329z 06 Feb
R2AJA	OM3CW	7009.0	CW CQ [LoTW]	1 dB	28 wpm	2214z 06 Feb
R2AJA	OE3WMA	7012.0	CW CQ	12 dB	33 wpm	2156z 06 Feb
R2AJA	OE3WMA	7012.0	CW CQ	18 dB	34 wpm	2155z 06 Feb
R2AJA	OE3WMA	7012.0	CW CQ	15 dB	34 wpm	2155z 06 Feb
R2AJA	LZ50ZF	7016.0	CW CQ	17 dB	33 wpm	2148z 06 Feb
R2AJA	LZ50ZF	7016.0	CW CQ	18 dB	30 wpm	2137z 06 Feb
R2AJA	LZ5DD	7015.0	CW CQ [LoTW]	2 dB	26 wpm	2116z 06 Feb
R2AJA	Z35Y	7012.2	CW CQ [LoTW]	0 dB	28 wpm	2114z 06 Feb
R2AJA	LZ5DD	7015.0	CW CQ [LoTW]	6 dB	26 wpm	2106z 06 Feb
R2AJA	R6KD	7018.5	CW CQ [LoTW]	14 dB	15 wpm	2101z 06 Feb
R2AJA	Z35Y	7012.2	CW CQ [LoTW]	3 dB	28 wpm	2054z 06 Feb
R2AJA	RA6FYL	7018.9	CW CQ [LoTW]	5 dB	27 wpm	2044z 06 Feb
R2AJA	Z35M	7028.0	CW CQ	4 dB	27 wpm	2020z 06 Feb

options: show/hide

Do you enjoy the RBN? Please consider supporting us!

we have 163 skimmers online

skimmers online:

- 3B8CW - no spot last 15min
- 3V4KF5EYY - 160m
- 9A1CIG - 160m, 80m, 40m, 20m
- 9M2CNC - 15m
- 9V1RM - no spot last 15min
- AA4VY - 160m, 80m, 40m
- ACDC - 80m, 40m
- AE4PM - no spot last 15min
- BD4WN - no spot last 15min
- BG4GOV - 40m, 20m, 15m
- BG7IBS - no spot last 15min
- BG8PA - 40m, 20m, 15m
- BH4BWX-1 - 40m, 15m
- BI4SSB - 40m, 20m
- CT1BOH - 160m, 80m, 40m
- CX6VM - 80m, 40m, 20m
- DF4UE - 160m, 80m, 40m
- DF4XX - 160m, 80m, 40m
- DF7GB - 160m, 80m, 40m
- DK0TE - 80m, 40m
- DK3UA - 160m, 80m

Рис. 2.3.12. Статистика спотов от скиммера R2AJA на диапазоне 40М за 12 часов работы с антенной «Магнитная петля»

Также информацию можно получить в виде карты. Пример работы скиммера за 12 часов на диапазоне 20М. Антенна – луч длиной 10 метров на высоте 3-4 метра.



Рис. 2.3.13. Карта спотов на диапазоне 20М за 12 часов работы

Подключившись к сети «RBN», Вы станете участником глобального мониторинга радиолобительских сигналов, а данные собираемые вашим скиммером помогут Вам и другим радиолобителям в наблюдениях и оценке распространения радиоволн.

Дополнительная информация:

- [1] DX Atlas <http://dxatlas.com>
- [2] «RBN» <http://reversebeacon.net/>

2.4 Настройка программы «WSPR 2.12» от K1JT

В данном разделе рассмотрим возможности приёма и декодирования WSPR сигналов с помощью программы «WSPR 2.12» от K1JT см. рис. 2.4.1.

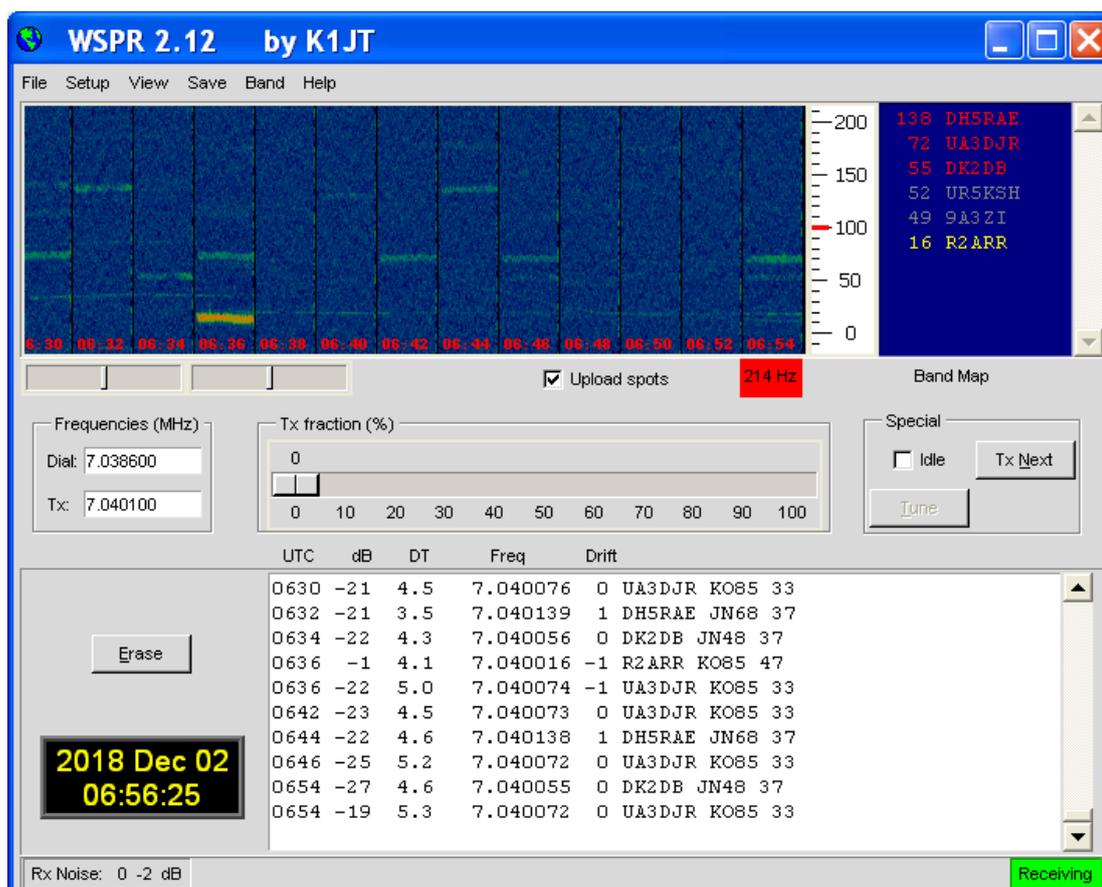


Рис. 2.4.1. Окно программы «WSPR 2.12» от K1JT

Все вышеописанные особенности работы с SDR-приёмником справедливы и для работы с WSPR. Первым делом нужно убедиться, что в полосу вашего SDR попадает «окно» WSPR желаемого диапазона см. табл. 1.6.1. Например, для рассмотренного в разделе 2.1 приёмника с полосой $\Delta F = 7032.220 \pm 24.000$ кГц, «окно» WSPR 7040.000 - 7040.200 кГц полностью укладывается.

В главном окне устанавливаем Tx fraction = 0%, что означает работу только на приём. В выпадающем списке «Band» выбираем 40M или другой необходимый диапазон. Системное время должно быть синхронизировано по интернет, например, программой «Dimension 4». Левая часть статусной строки «Rx Noise» поможет оценить наличие сигнала от приёмника на входе аудиокарты.

Теперь откроем окно Setup > Station parameters и укажем в нём, позывной, свои координаты, используемые звуковые устройства компьютера.

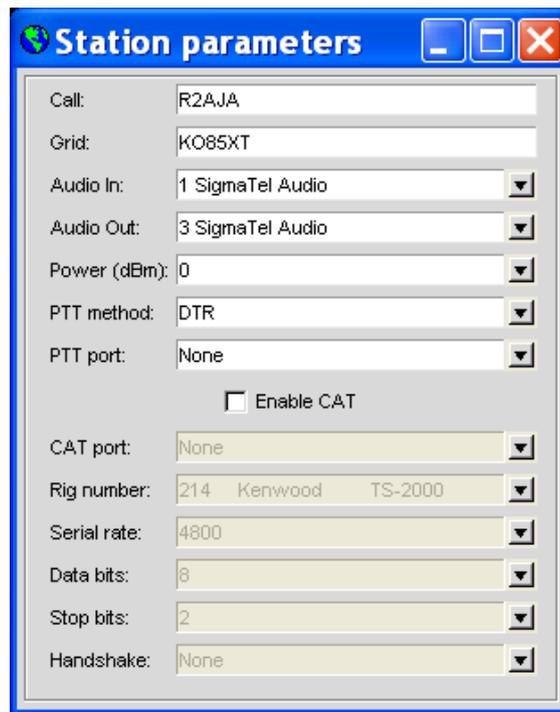


Рис. 2.4.2. Окно Station parameters «WSPR 2.12»

Теперь откроем окно Setup >Mode IQ и укажем в нём, настройки работы с SDR

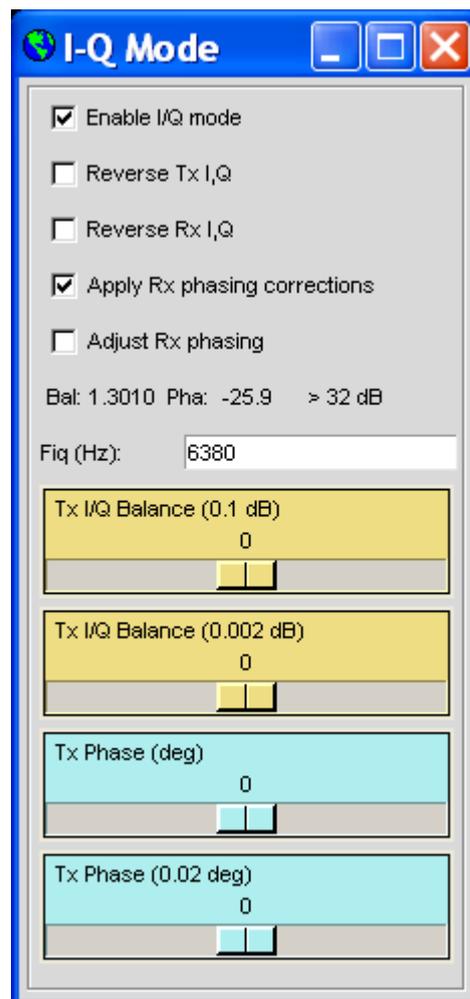


Рис. 2.4.3. Окно I-Q Mode «WSPR 2.12»

Установим галочку «Enable I/Q Mode» для активации режима. «Reverse I/Q» - служит для ориентации частотной шкалы. Определяется экспериментально. Отсутствие галочки соответствует варианту настройки «Left/Right=Q/I» CW Skimmer. Apply RX phasing corrections и Adjust RX phasing – служат для улучшенного программного подавления зеркального канала. На первое время эти галочки ставить не нужно. О программной коррекции будет сказано далее.

Настроим смещение «окна» приёма WSPR $F_{iq} = F_{dial} - F_{l.o.}$. Где F_{dial} = нижней границе частоты WSPR «окна» минус 1400 Гц. В данном случае $F_{dial}=7040000-1400=7038600$ Гц. Получим теперь $F_{iq} = 7038600 - 7032220 = 6380$ Гц укажем эту частоту в поле и закроем окно настроек I/Q. Они применяются автоматически. [1]

Считаем, что $F_{l.o.}$ определена с точностью не менее ± 100 Гц. Для работы WSPR желательно знать $F_{l.o.}$ с точностью не менее ± 1 Гц. Поэтому для дальнейшей настройки нам потребуется точный источник ВЧ-колебания: генератор или трансивер. Подключаем нагрузку или антенну к трансиверу и на пониженной мощности генерируем несущую на центральной частоте «окна» приёма WSPR в течении 5-10 секунд. В нашем случае центральная частота 7040.100 кГц. В конце цикла приёма программа «WSPR» показывает принятый сегмент водопада, на котором стараемся обнаружить посылаемую несущую. Если она смещена относительно метки центра водопада, корректируем частоту F_{iq} в нужную сторону см. рис. 2.4.4.

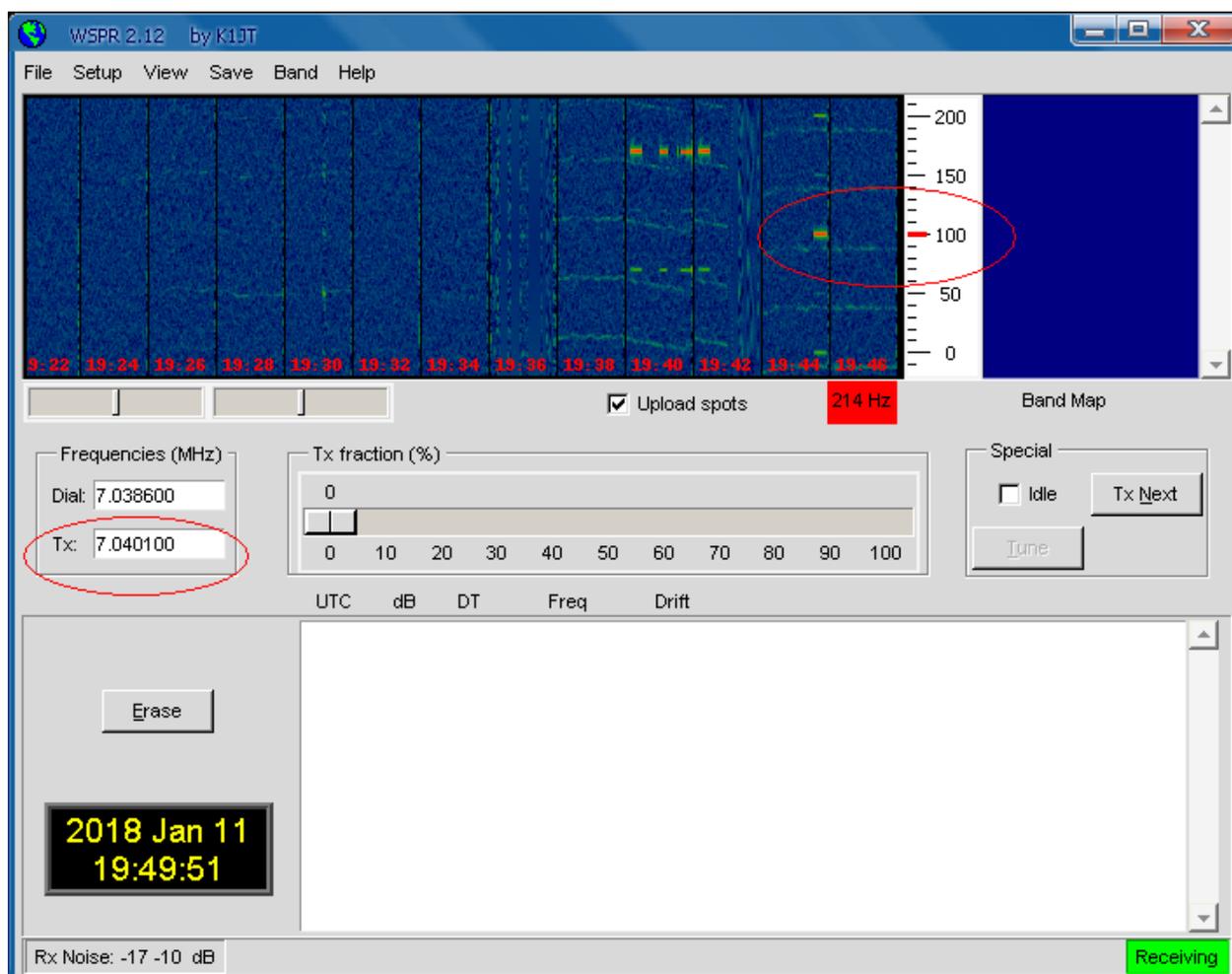


Рис. 2.4.4. Установка точной шкалы частот в WSPR 2.12

Если на экране приёма сигнал отображается выше номинала, значит сдвигаем F_{iq} в сторону увеличения по абсолютной шкале частот на величину расхождения. Для ситуации на рис. 2.4.4. коррекция выполняется по формуле $F_{iq} = F_{iq} + 70$ Гц. Если на экране приёма

сигнал отображается ниже номинала, значит сдвигаем Fiq в сторону уменьшения по абсолютной шкале частот на величину расхождения. $F_{iq} = F_{iq} - dF$. [2]

Программа «WSPR 2.12» от K1JT имеет настройки по подавлению зеркального канала программными средствами. Включите тестовый синусоидальный сигнал, попадающий в 200 Гц полосу приёма WSPR, или по крайней мере не выходящий за нее далее, чем на 500 Гц. Дождитесь начала приёма сигналов программой и в окне I-Q Mode рис. 2.4.3 установите галочку Adjust Rx phasing. Значения Bal и Pha начнут изменяться, пока программа ищет оптимальные настройки баланса и фазы. Обычно это занимает 30 секунд. При найденном оптимальном варианте цифры Bal и Pha перестанут изменяться. Теперь можно снять галочку Adjust Rx phasing и установить галочку Apply Rx phasing corrections. Пример настройки, показанный K1JT на рис. 2.4.5.

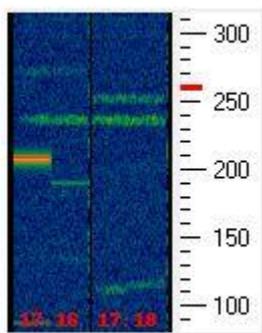


Рис. 2.4.5. Подавление зеркального канала в WSPR 2.12

В левом такте приёма 17:16 показан тестовый сигнал, а также тестовый сигнал, поданный на зеркальной частоте, который попадает в полосу приёма и ослабляется, но недостаточно хорошо – тонкая зеленая линия на рисунке. В правом такте приёма 17:18 сигнал после проведенной коррекции незаметен. K1JT утверждает, что для приёмника типа SoftRock с начальным подавлением зеркального канала около 30 дБ после описанной коррекции можно достигнуть подавления зеркального канала вплоть до 70 дБ! [3]

Теперь, когда настройки выполнены, можете оставить включенным приёмник SDR, включить программу «WSPR 2.12», установить галочку «Upload spots» и начать собирать споты на WSPR маяки. см. рис. 2.4.1. Когда программа не может подключиться к серверу <http://wsprnet.org/> раздаётся сигнал системного динамика. Его можно отключить в выпадающем меню Setup > «No beep when access to WSPRnet fails».

Дополнительная информация:

[1] «Приём WSPR на ZetaSDR-M»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/01/wspr-zetasdr-m.html>

[2] «Некоторые особенности WSPR & SDR [features]»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/12/wspr-sdr-features.html>

[3] «Подавление зеркального канала в WSPR 2.12 K1JT»

http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/WSPR_2.1_Supplement.pdf

[4] Joe Taylor, K1JT, «WSPR3.0 User's Guide»

http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/WSPR_3.0_User.pdf

2.5 Некоторые особенности работы SDR с WSPR

Теперь рассмотрим некоторые особенности работы с сигналами WSPR, принимаемыми на SDR-приёмник типа ZetaSDR.

Первая особенность: при работе с WSPR у вас нет шансов, быть принятым на высших гармониках сигнала. Сообщество «WSPRNET» распределило частоты таким образом, чтобы диапазоны WSPR не пересекались для гармоник. Приведу пример сначала для телеграфа.

Если сигнал CW передается на частоте 7030 кГц, то вторая гармоника будет на 14060, что может быть зафиксировано как оператором, так и автоматом. Если же мы посмотрим на центральную частоту WSPR для 40М диапазона: 7040.100 кГц, то вторая гармоника будет на 14080.200, а полоса приёма WSPR 14097...14097.2 кГц, т.е. уже не попадаем. Но это еще не всё, сообщение WSPR кодируется четырьмя частотами, и каждая возрастет в 2 раза. Соотношение между частотами нарушится, и спектр сигнала расширится. Для примера я настроил приёмник принимать вторую гармонику сигнала WSPR. В режиме USB частота приёма, ниже на 1500 Гц, чем частота второй гармоники WSPR. см. рис. 2.5.1.

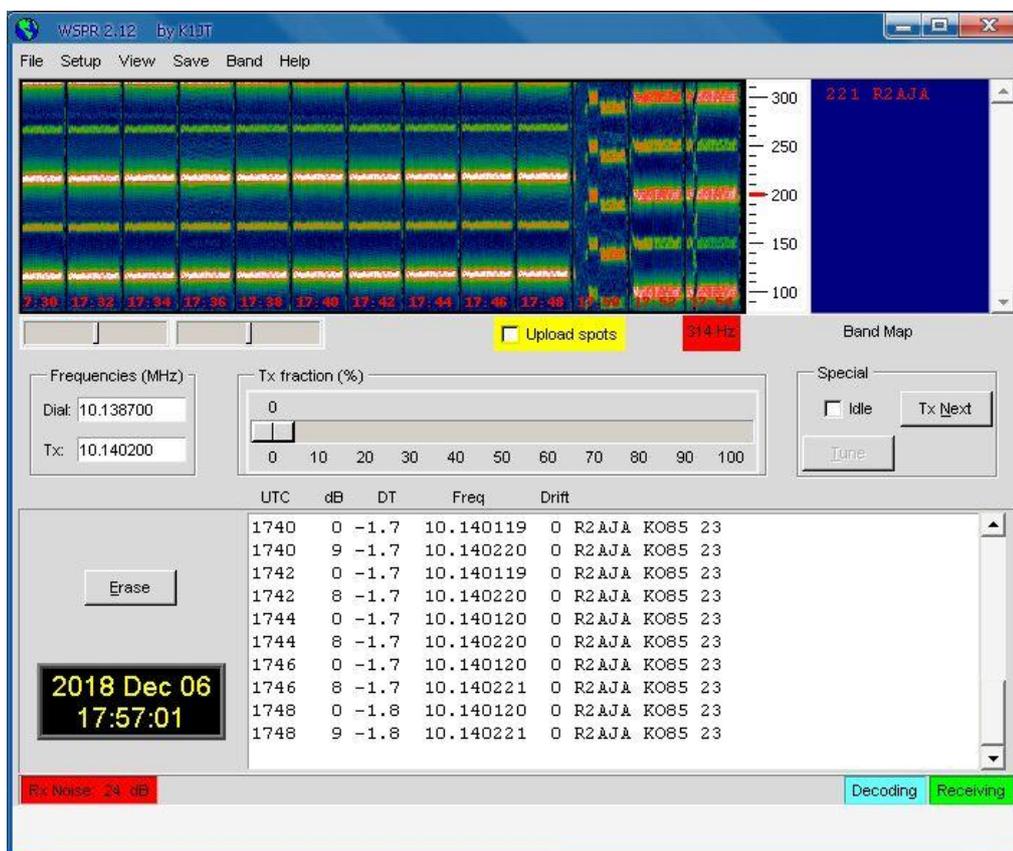


Рис. 2.5.1. WSPR сигнал на основной и второй гармонике

Видно множество WSPR сигналов отстоящих друг от друга на 50 Гц, да такой необычный сигнал формирует si5351 в моем образце маяка. На самом деле, эти дополнительные сигналы очень слабые, но отображаются ярко из-за близости приёмника и передатчика. Нас интересует основной сигнал – по центру «окна» приёма. Декодирование для второй гармоники невозможно.

Вторая особенность: Декодировать зеркальный набор частот невозможно, см. рис. 2.5.2. Этот опыт проводился с приёмником ZetaSDR-M с использованием режима I/Q для программы «WSPR».

Здесь и далее:

Flo - частота опорного осциллятора в SDR;

Fwspr - частота сигнала WSPR;

Fz - зеркальная частота сигнала WSPR;

Fdial - частота настройки WSPR программы;

Fiq - смещение частоты Fdial относительно частоты Flo (Fdial-Flo);

dF - модуль смещения частоты WSPR относительно Flo;

В моем случае частота Flo = 10125600 Гц;

Fdial=10138700 Гц;

Fiq = Fdial-Flo=13100 Гц;

$$dF = |F_{lo} - F_{wspr}| = |10125600 - 10140200| = 14600 \text{ Гц}$$

$$F_z = F_{lo} - dF = 10111000 \text{ Гц}$$

$F_{dialZ} = 10111000 - 1500 \text{ Гц} = 10109500 \text{ Гц}$; частота настройки программы для приёма "зеркального отображения частот"

$$F_{iq} = F_{dialZ} - F_{lo} = -16100 \text{ Гц}$$

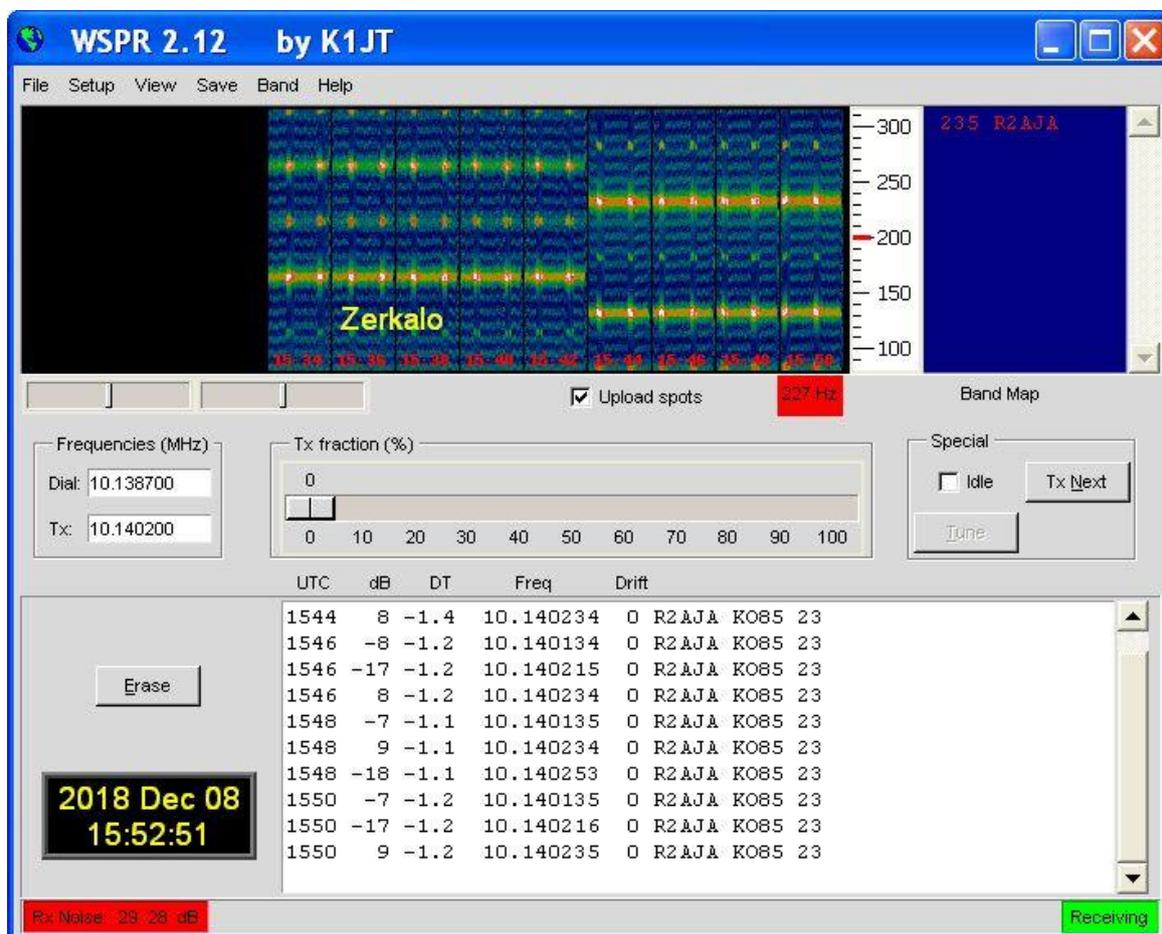


Рис. 2.5.2. Зеркальный WSPR сигнал

Как видим - приём невозможен, т.к. программа считает старшую частоту младшей при такой настройке. Не стоит путать рассмотренный пример с выбором I/Q = Left/Right в настройках программы. При неправильном выборе программа рассматривает зеркальный канал как основной, при этом соотношение частот старший/младший не нарушается. При этом декодирование возможно, но сам сигнал ослаблен со степенью подавления зеркального канала в SDR - приёмнике.

Третья особенность – точность установки времени. Согласно руководству пользователя WSPR, допускается ошибка установки времени не более 1 секунды. Синхронизация времени через интернет встроенным средством Windows показала ошибку установки около 0.5 секунд, что, впрочем, для работы WSPR достаточно. Практически же приёмник WSPR от K1JT прощает ошибку установки времени вплоть до 3 секунд.

Четвертая особенность - возможность запускать сразу два скиммера - CW и WSPR на одном компьютере, если ресурсы техники позволяют. Мой Пентиум 3 ГГц с 512 Мб памяти, имеет загрузку 30-50% при приёме, и 90%-100% в моменты декодирования WSPR см. рис. 2.5.3.

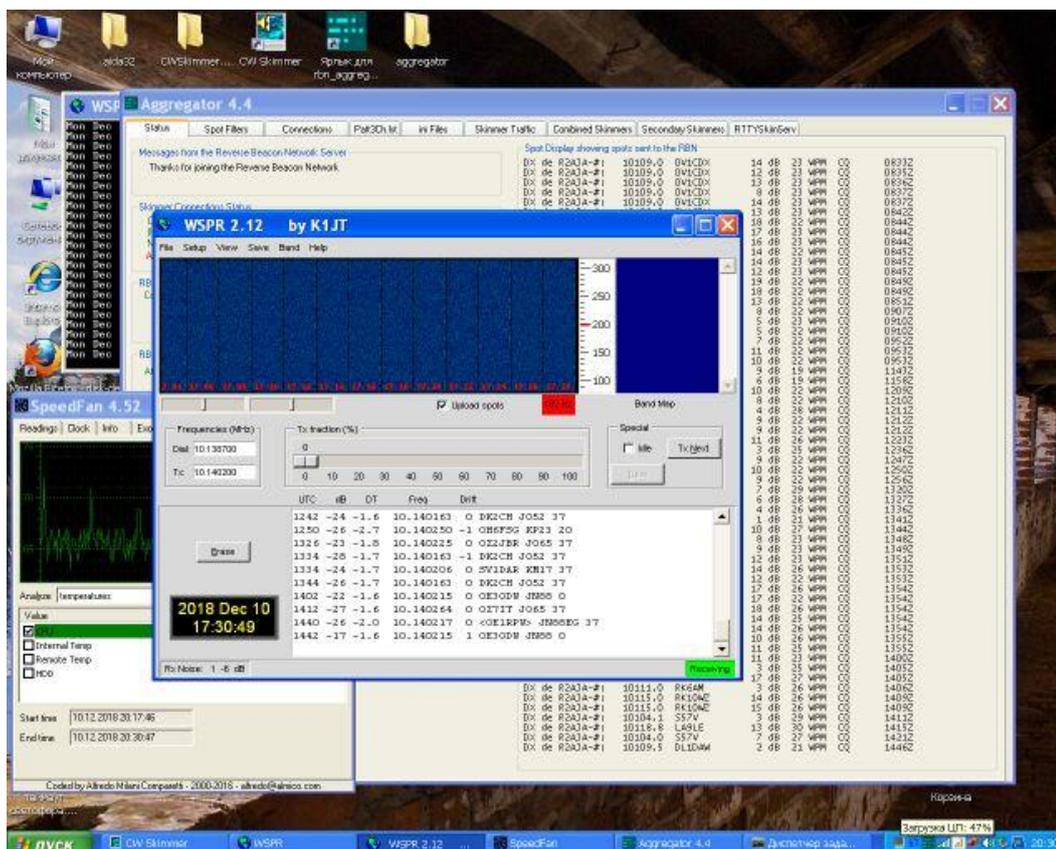


Рис. 2.5.3. Одновременная работа «CW Skimmer» и «WSPR 2.12»

Дополнительная информация:

[1] Joe Taylor, K1JT, «WSPR3.0 User's Guide»

http://www.physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/WSPR_3.0_User.pdf

2.6 Применение сетей «WSPRNET» и «RBN» для получения телеметрии маяков

Скиммеры или автоматические приёмные станции, способные декодировать радиоловительские сообщения, существуют уже более 10 лет. Как правило декодируются сообщения в форматах CW, PSK, WSPR, после чего они попадают в базы данных, с указанием позывного и некоторых дополнительных сведений.

Так для формата CW, «RBN» [1] сохраняет значение частоты, уровень приёма, скорость передачи и дату.

Для формата WSPR в базе «WSPRNET» [2] сохраняется частота, Grid-locator (координаты), уровень приёма, мощность передатчика см. глава 1, раздел 1.6.

Нет никаких проблем сделать автоматический маячок, сигналы которого смогут принять скиммеры, но что если мы хотим не просто попасть в базу данных, но и получить дистанционно какую-либо информацию с удаленного устройства, например, с летающего маяка-шара см. рис. 2.6.1 [3] или плавающего буя (бакен, beacon) см. рис. 2.6.2?



Рис. 2.6.1. Маяк – зонд на аэростате от Leo Vodnar, M0XER



Рис. 2.6.2. Маяки – поплавки. Буи

-Такая возможность существует. Рассмотрим для начала сеть «RBN» и данные, которые она сохраняет.

Приведу пример выписки из «RBN» о работе маяка:

Таблица 2.6.1. Данные, сохраняемые в «RBN»

de	dx	freq	cq/dx	snr	speed	time
OH6BG	 R2AJA/B	10122.1	CW BCN	5 dB	15 wpm	1506z 23 Oct

Информацию о себе автомат может внедрить в частоту и скорость передачи. Допустим, устройство может изменять частоту с 10120 до 10123 кГц с шагом 1 кГц, а скиммер с заданной точностью (1 кГц) может определить такое изменение. Тогда различных состояний по частоте можно получить:

10120 кГц = 00
 10121 кГц = 01
 10122 кГц = 10
 10123 кГц = 11

т.е. заложить 2 бита информации в частоту.

Управлять частотой с высокой точностью можно при использовании синтезатора частоты, но что если в качестве генератора CW используется стабилизированный кварцем генератор?

-Остается вариант изменения скорости передачи сообщений.

Например скорость может изменяться от 15 до 22 слов в минуту, тогда получим варианты:

15 WMP = 001
 16 WMP = 010
 17 WMP = 011
 18 WMP = 100
 19 WMP = 101
 20 WMP = 110
 21 WMP = 111
 22 WMP = 000

т.е. 3 бита информации заложено в скорость передачи.

Это совсем немного, по современным меркам, но вполне достаточно для оценки простых состояний устройства: температура: выше нуля/ниже нуля, состояние аккумулятора: заряжен / разряжен и т.д.

Более широкие возможности, но и при более сложной реализации может предоставить сеть «WSPRNET». Популярные конструкторы QRP-Labs и распространенное программное обеспечение для микроконтроллеров Arduino способны формировать сообщение по типу "Позывной/Локатор/Мощность передачи".

То есть, если использовать не по назначению данные поля, можно передать телеметрию с удаленного маяка. [4]

Сеть «WSPRNET» допускает такую возможность, используется символ "0" или "Q" в качестве указателя о том, что данные являются не обычны сообщением WSPR, а телеметрией.

Приведу пример:

Маяк кодирует: **OR2AJA QA35 20**, здесь '0' - признак телеметрии, R2AJA - позывной, QA35 и 20 - информация.

Допустим, что в локаторе, каждый символ может принимать значение латинской буквы или цифры, тогда каждый из четырех символов может закодировать $26 + 10 = 36$ состояний, округленно для ровного счета это 5 бит информации. И всего для 4 символов = 20 бит.

Значение мощности передатчика может принимать значения от 0, 3, 7, 10 ... 60 дБм, т.е. 19 вариантов, что округленно составляет 4 бита информации.

Следовательно, мы можем передать всего 24 бита информации (или 3 байта).

Заменив стартовую последовательность 0R2AJA на QR2AJA мы сможем получить еще 3 байта для другой информации.

Сам маяк будет последовательно передавать три сообщения:

- 1) R2AJA + Локатор + Мощность (стандарт для WSPR)
- 2) 0R2AJA + Данные1 + Данные 2 (телеметрия 1: напряжение, ток)
- 3) QR2AJA + Данные3 + Данные 4 (телеметрия 2: температура, влажность, давление)

Уложиться в столь узкие рамки возможно, разбив измеряемые величины на поддиапазоны. Естественно, конфигурация и количество сообщений может широко варьироваться, но при этом все они будут сохраняться в «WSPRNET».

Выбор диапазона для передачи оказывается непростым. Так на КВ при более компактных антеннах диапазона 10М, вероятность прохождения сигнала меньше, чем например в диапазоне 20М. В свою очередь на 20М, более громоздкие антенны, но стабильнее прохождения. Также не стоит забывать про наблюдательные станции (скиммеры) и их размещение.

Сравните:

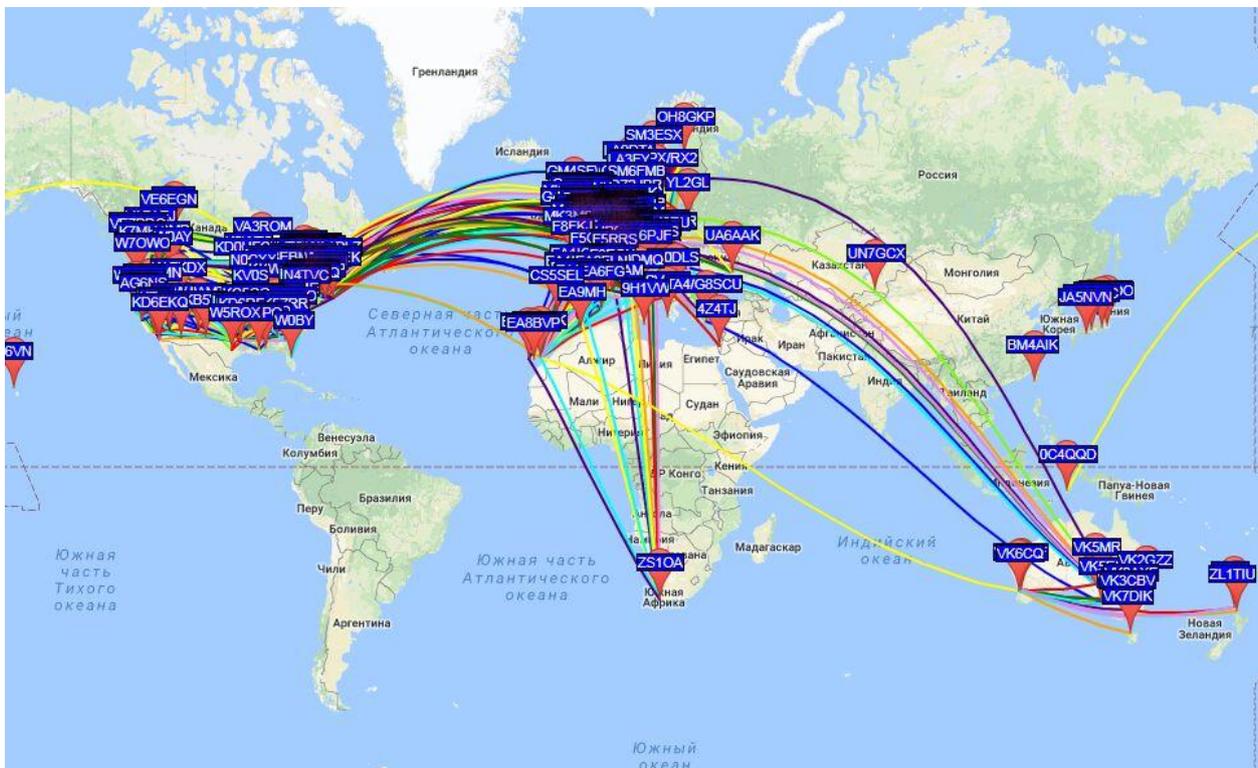


Рис. 2.6.3. «WSPRNET» диапазон 30M

Так для классического диапазона WSPR - 30M, существует максимальное количество скиммеров, а вот в УКВ их почти нет.

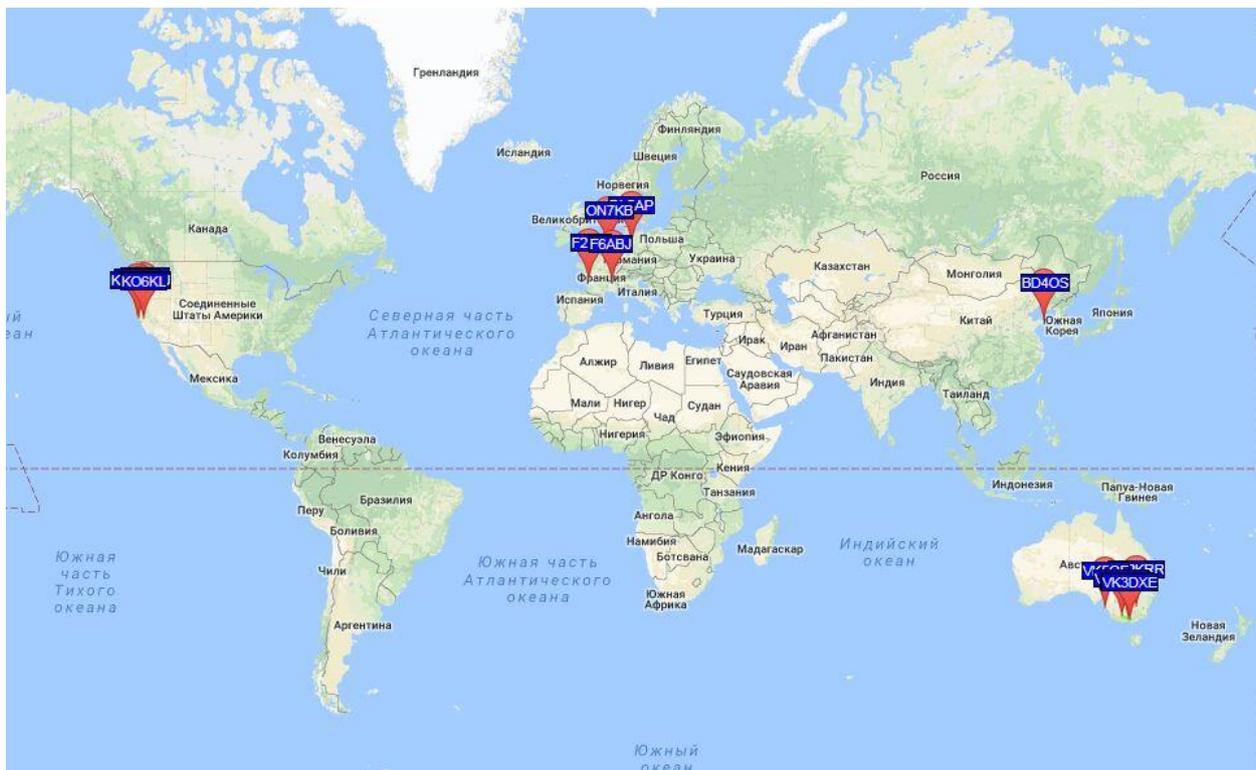


Рис. 2.6.4. «WSPRNET» диапазон 2М

Сеть «RBN» также практически не представлена на УКВ.

Несмотря на вышесказанное, применение УКВ может быть оправдано из-за более компактных антенн в этом диапазоне, а в перспективе, для получения данных от радиоловительских ИСЗ.

Дополнительная информация:

- [1] «RBN» <http://www.reversebeacon.net/>
- [2] «WSPRNET» <http://wsprnet.org>
- [3] Leo Bodnar M0XER <http://www.leobodnar.com/balloons/>
- [4] VE3KCL balloons <http://grp-labs.com/ultimate3/ve3kcl-balloons.html>

Глава 3. Антенная техника

3.1 Датчик электромагнитного поля

Перед тем как начать проектирование антенн, неплохо изготовить простой прибор - датчик электромагнитного поля. С помощью него будет возможно оценить излучаемую мощность и оптимальность настройки ваших усилителей и антенн.

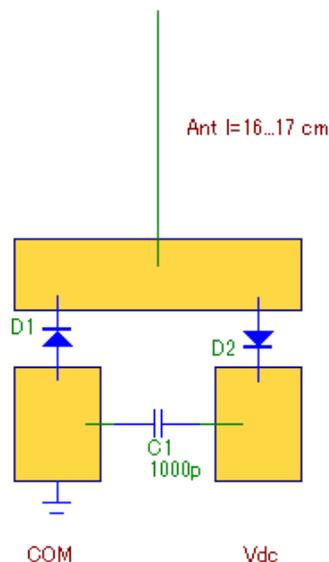


Рис. 3.1.1. Схема датчика электромагнитного поля

Для сборки используются ВЧ-диоды, желательно германиевые, что обеспечит большую чувствительность. В качестве антенны – отрезок провода длиной 10...20 см. Чем длиннее провод, тем большая ЭДС будет наводиться в такой антенне.

Датчик подключается к любому тестеру, на котором, при измерениях следует последовательно переключать пределы измерений от большего к меньшему: 20В, 2В, 0.2В. При правильно выбранном пределе измерения будут иметь достаточную точность для оценки максимального излучения исследуемой антенны.



Рис. 3.1.2. Внешний вид собранного датчика для мультиметра

Параллельно ёмкости С1 можно подключить переменный резистор на 1000 Ом, для коррекции показаний измерителя, это может быть полезным, например если такой датчик присоединен к стрелочному прибору с одним диапазоном измерений.



Рис. 3.1.3. Внешний вид стрелочного прибора с датчиком

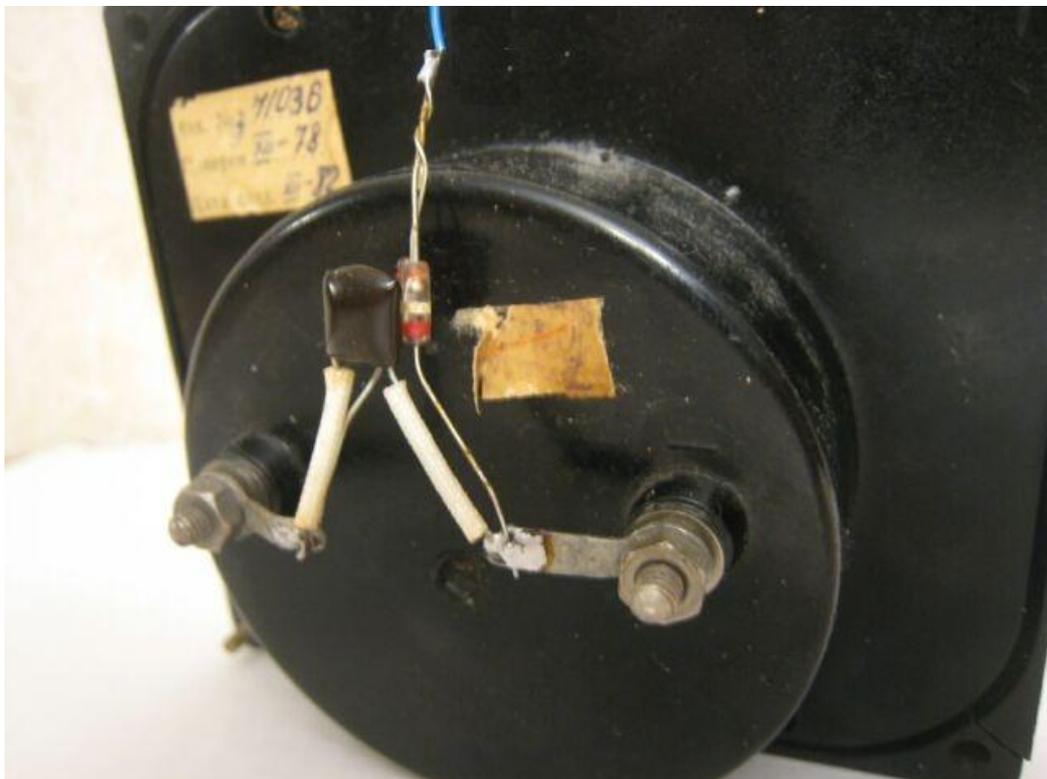


Рис. 3.1.4. Навесной монтаж датчика

Дополнительная информация:

[1] Обсуждение вариантов датчиков поля на форуме "Радиокот"
<http://radiokot.ru/forum/viewtopic.php?p=1667702>

[2] Чубаров И. Ю. «ВЧ-пробник (измеритель ВЧ-поля)»
http://ivan.bmstu.ru/avia_site/r_main/HWR/ADDS/VCHTST/vcht.html

3.2 Антенна «Луч» для размещения типа «окно-дерево»

Как правило, возможности современного радиолюбителя по размещению антенн достаточно скромные, особенно если он живёт в городе, где установить сложные конструкции мало кому доступно. Поэтому рассмотрим варианты размещения простой проволочной антенны, в первую очередь, для диапазона 20 М (14 МГц), для низких этажей многоэтажных зданий.

Предположим, что вы можете закрепить элементы антенны с одной стороны на окне или балконе, с другой стороны на столбе, дереве, здании и т.д.

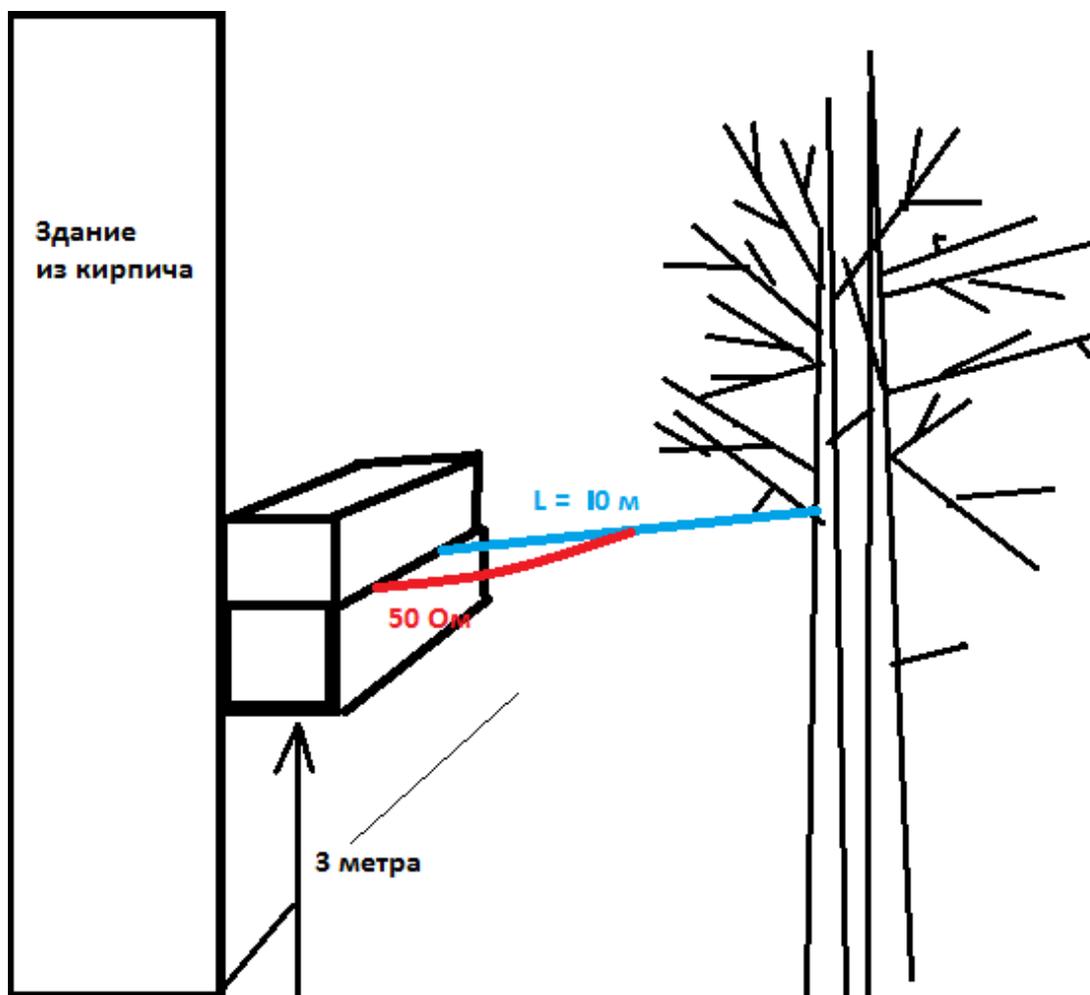


Рис. 3.2.1. Горизонтальный диполь, запитка в разрыв коаксиалом 50 Ом

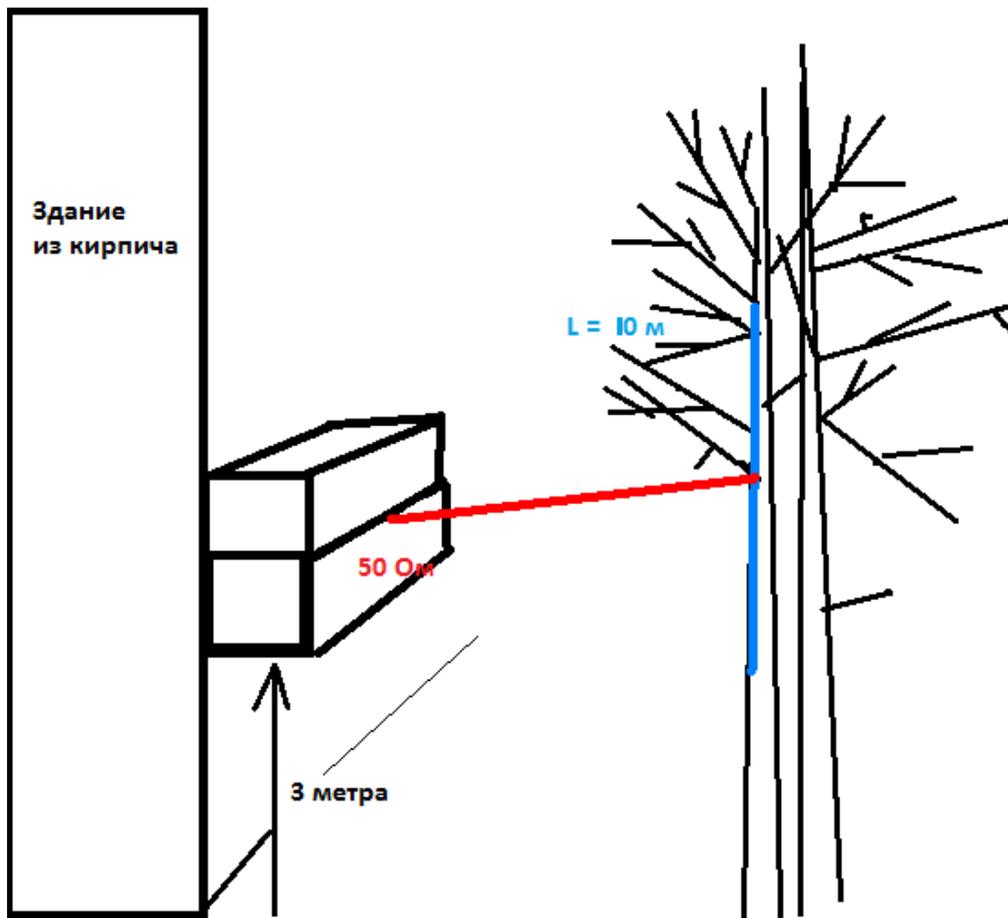


Рис. 3.2.2. Вертикальный диполь, запитка в разрыв коаксиалом 50 Ом

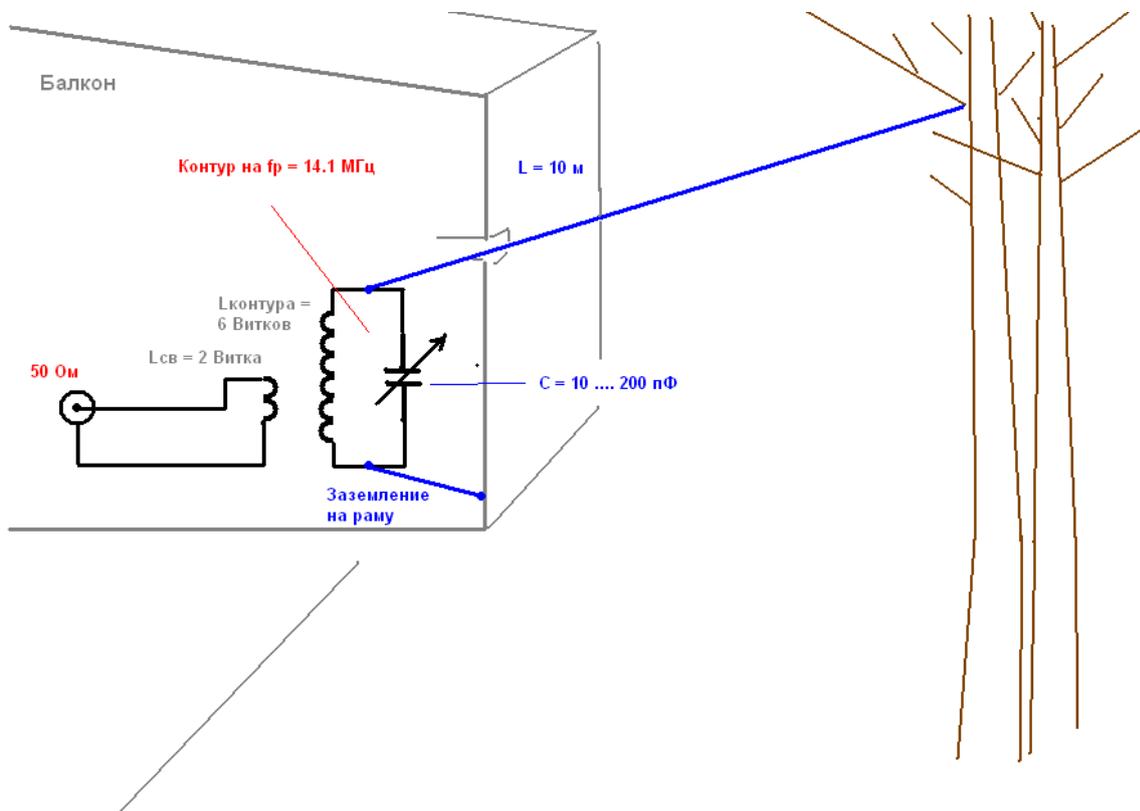


Рис. 3.2.3. Антенна длинный провод (LW), в частном случае еще и EFD (end feed dipole) диполь, запитываемый с конца

Антенна луч или long wire (LW) показана с примером согласующего устройства.

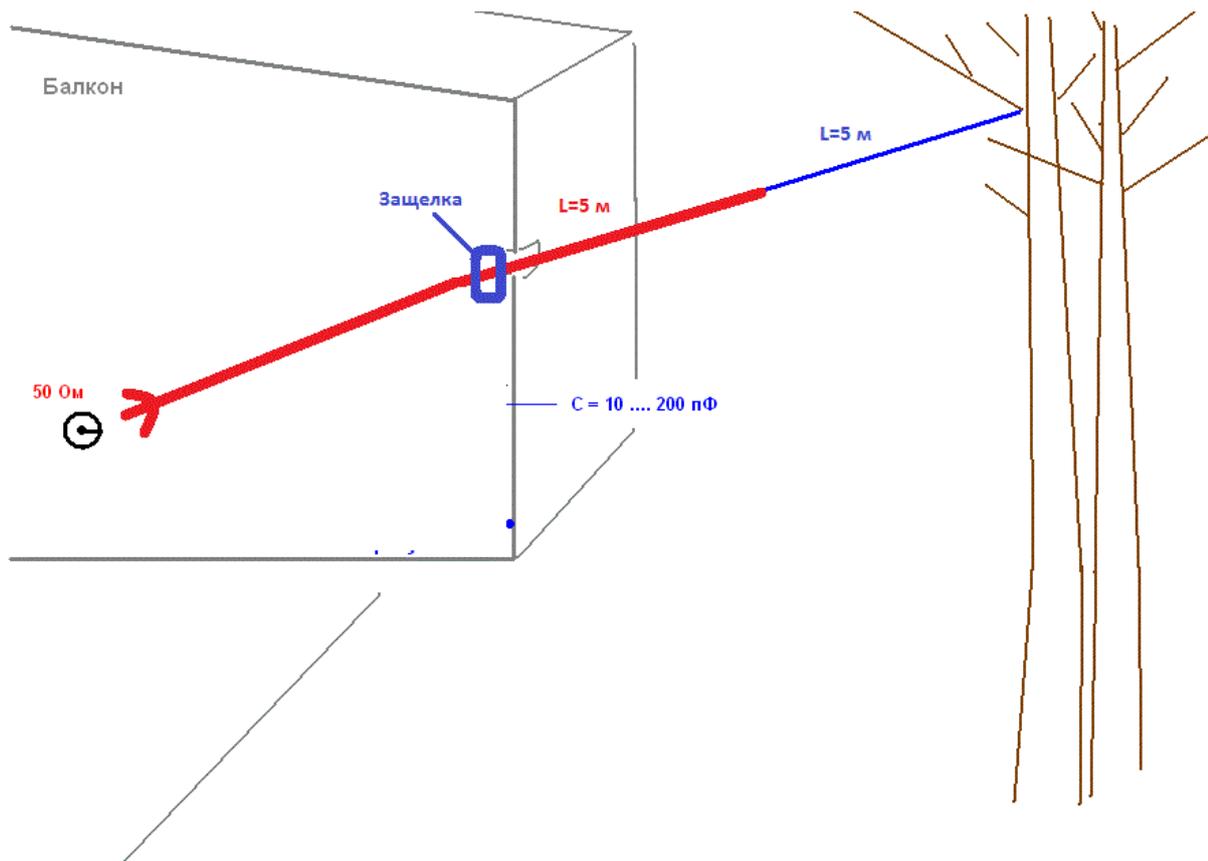


Рис. 3.2.4. Антенна типа «Диполь», плечо которого есть оплетка коаксиального кабеля

Основные проблемы для всех этих антенн в показанном размещении:

- 1) влияние земли;
- 2) влияние здания;
- 3) влияние дерева.

Индивидуальные проблемы показанных антенн:

Горизонтальный диполь (H Dipole):

- 1) невозможность настройки после размещения этой антенны;
- 2) однодиапазонность;
- 3) три провода на улице (два плеча и коаксиал) И в глаза бросается, и в помещение заводить сложнее.

Вертикальный диполь (V Dipole):

- 1) невозможность настройки после размещения этой антенны;
- 2) поглощение деревом сигнала;
- 3) однодиапазонность;
- 4) три провода на улице (два плеча и коаксиал) менее заметен чем горизонтальный диполь и в помещение идёт всего один коаксиальный проводник.

Длинный провод (Long Wire, LW):

- 1) требует согласующее устройство;

Антенна типа «Диполь», плечо которого есть оплетка коаксиального кабеля (Coaxial dipole):

- 1) требуется хороший запорный дроссель, т.к. ферритовая защелка не сможет полностью отсекал ВЧ-токи по оплетке кабеля;
- 2) невозможность настройки после размещения этой антенны;
- 3) однодиапазонность.

По приоритетности установки я бы расставил их: LW, Coaxial dipole, H Dipole, V Dipole.

Невозможность настройки антенны - серьезный повод задуматься. Конечно, можно снять полотно, изменить размеры, заново повесить антенну, однако на настройку могут еще влиять и атмосферные факторы. Следует заметить, что КПД плохо расположенного и ненастроенного диполя будет заведомо хуже чем настроенного луча (LW).

Поэтому дальше будем рассматривать антенну – «Луч» в качестве основного варианта.

Напрямую подключить такую антенну к входу трансивера нельзя. Требуется согласование импедансов антенны и трансивера.

Возможные варианты согласования такой антенны:

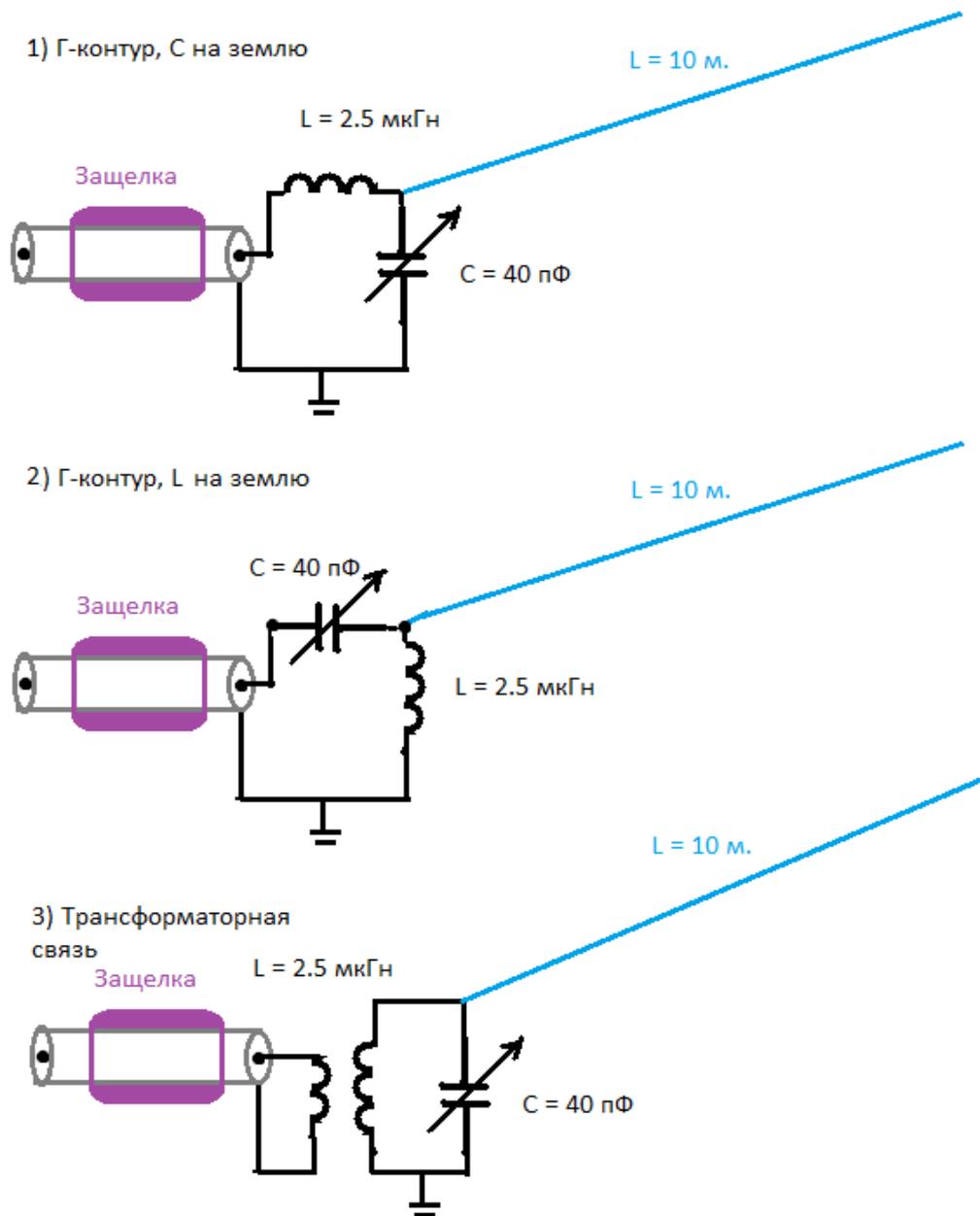


Рис. 3.2.5. Варианты согласования антенны «Луч»

Согласование контуром (3) или "антенна Фукса" – имеет трансформаторную развязку входа трансивера от контура антенны. СУ по схеме (2) сбрасывает статику с полотна антенны.

Среди (1) и (2) варианта обычно СУ строят по (1), в литературе он часто называется «Г- контур».

При настройке лучше стремиться к большей индуктивности и меньшей ёмкости. Интересная особенность: для согласования большого сопротивления излучения к меньшему (антенны с длиной полотна $\lambda/2$ и более), конденсатор настройки ставится со стороны полотна антенны, в обратном случае (укороченные антенны) со стороны трансивера.

Отметим здесь, что согласовывать данный луч можно и тюнером, описанным в разделе 3.4 данной книги.

В конечном итоге получаем следующий вариант см. рис. 3.2.6:

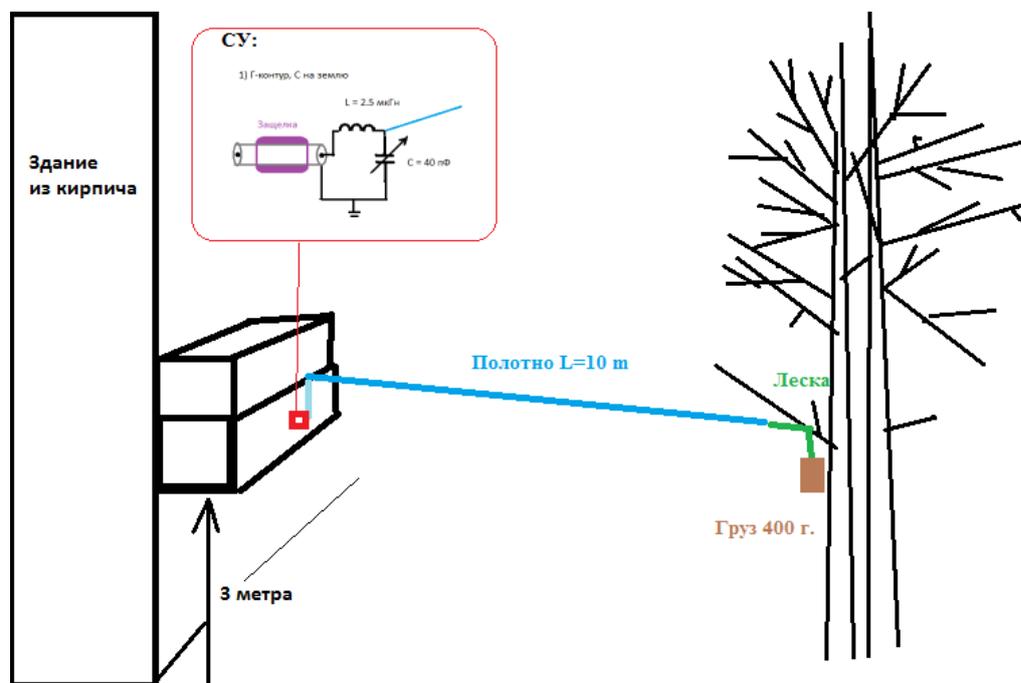


Рис. 3.2.6. Размещение антенны - «Луч»

Особенности согласования двухэлементными тюнерами рассмотрим в следующем разделе книги, а сейчас оценим диаграммы направленности (ДН) полученной антенны.

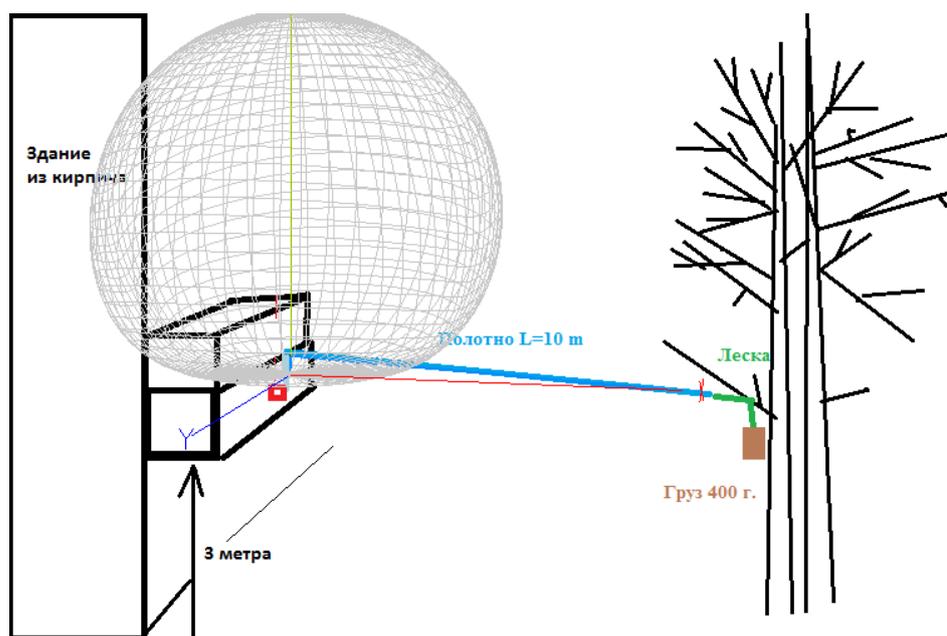


Рис. 3.2.7. Оценка ДНА для диапазонов: 40М...15М (7МГц...21 МГц)

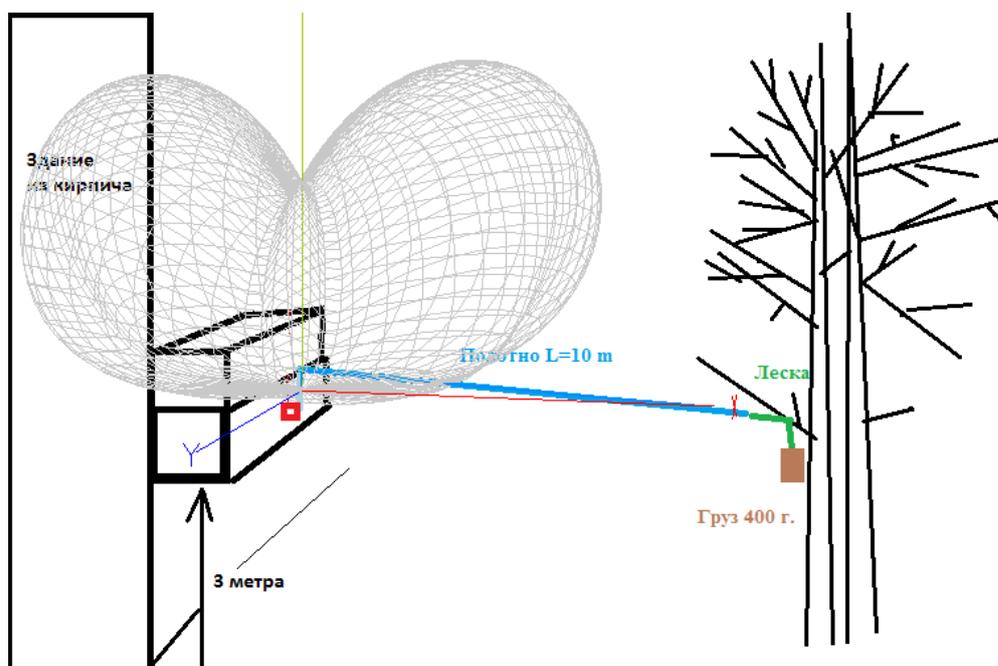


Рис. 3.2.8. Оценка ДНА для диапазонов: 12М...10М (24МГц...28 МГц)

Видим, что антенна обладает зенитным излучением, для диапазонов 40М...15М (7МГц...21МГц). И лишь при частотах выше 24 МГц, угол излучения снижается. Таким образом, такую антенну можно использовать для ближних и односкачковых связей.

В табл. 3.2.1 приведены параметры антенны «Луч», рассчитанные в программе «MMANA-GAL».

Таблица 3.2.1. Параметры антенны «Луч» (по модели MMANA-GAL):

№.	F (МГц)	R (Ом)	jX (Ом)	KCB 50	Ga (dBi)	F/B (dB)	Elev(гр)	Поляр.
10	144.1	209.8	-366.8	17.2	8.01	2.96	26.8	верт.
9	28.5	332.7	-584.1	27.3	5.69	0.84	53.8	верт.
8	24.94	50.56	-1144	519	6.02	1.23	56.1	верт.
7	21.05	31.52	-1634	1697	5.61	2.15	65.1	верт.
6	18.08	80.47	-2179	1182	6.07	0.22	83.5	верт.
5	14.05	725.3	-903.0	37.0	6.79	-2.74	88.6	гориз.
4	10.12	14.21	-3050	13102	7.39	-2.58	89.5	гориз.
3	7.05	2.158	-4727	207196	7.97	-2.33	89.8	гориз.
2	3.55	0.2447	-9867	1999999	6.73	-1.89	89.7	гориз.
1	1.825	0.1073	-19394	1999999	0.86	-1.59	89.0	верт.

Внешний вид антенны «Луч» с коаксиальным кабелем и СУ показан на рис. 3.2.9.

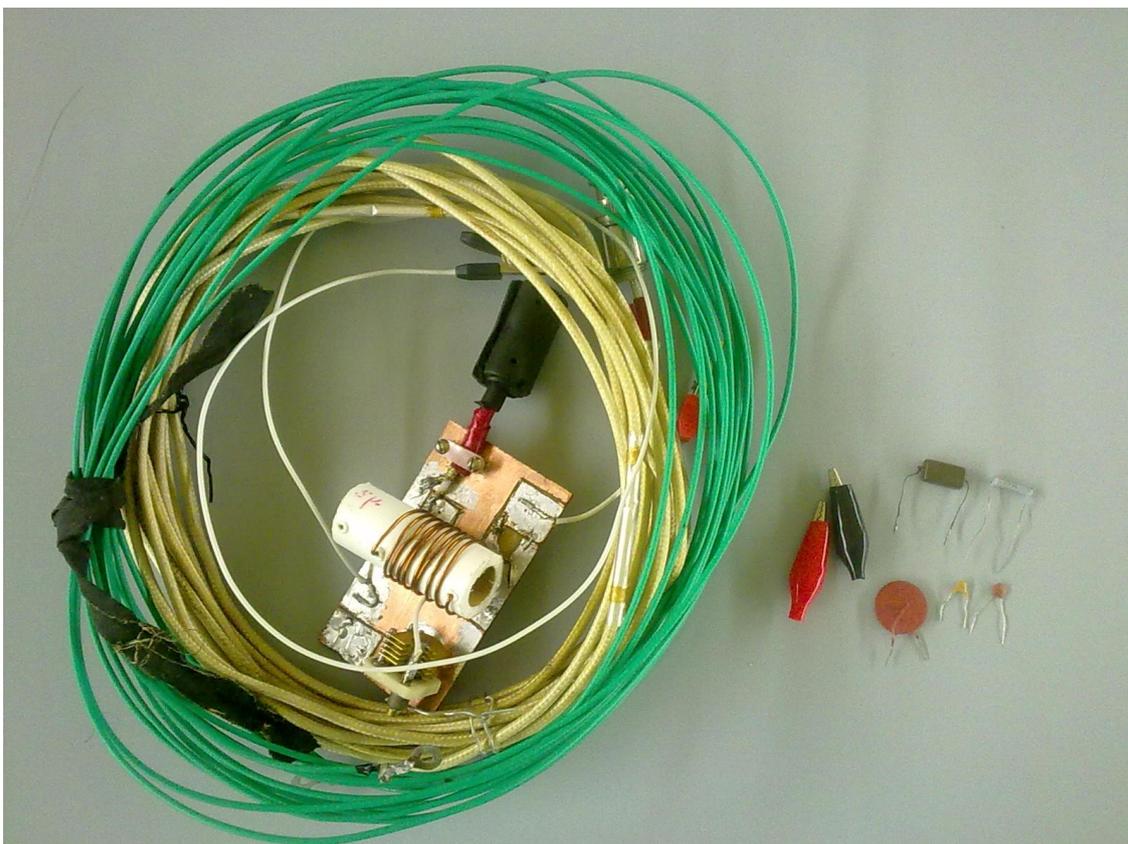


Рис. 3.2.9. Внешний вид антенны «Луч» с коаксиальным кабелем и СУ

Дополнительная информация:

- [1] Расчет катушек индуктивности <http://coil32.ru>
- [2] Анализ антенн в MMANA-GAL <http://gal-ana.de/basicmm/ru/>
- [3] Борис Степанов, EFA — "запитываемая с конца антенна" <http://rfanat.ru/s13/an-r205.html>
- [4] Борис Степанов (RU3AX) ,«Неумирающая антенна Фукса» (Радио,2007,№ 5 стр.67,68)
- [5] Евгений Кузнецов "Антенна Фукса", <http://www.433175.ru/index.php?newsid=834> (CQ QRP#32)
- [6] Владимир Тимофеевич Поляков, "Об антенне HB9SL" CQ QRP#16 (Весна 2007)
- [7] "Согласование антенн случайной длины" <http://hammania.net/index.php/articles/pro-antenny/soglasovanie-antenn-sluchajnoj-dliny>

3.3 Согласование антенн двухэлементными LC – звеньями

В разделе 3.2 мы познакомились с простой антенной в виде направленного луча, который используется совместно с тюнером или согласующим устройством. Для более полного понимания проанализируем возможности согласования различных импедансов, согласующими устройствами на сосредоточенных элементах. Тем самым будет получен ответ на вопрос – какой конфигурации использовать LC-цепочку (возможны 4 варианта подключения). Рассматриваются только согласующие устройства из двух элементов. Волновое сопротивление источника излучения – 50 Ом.

Раскладки теоретические, но могут быть полезны на практике, в частности для решения обратной задачи - из найденных значений L и C, оценить импеданс произвольной антенны (Провод случайной длины). Для анализа используется программа «SimSmith 14.14» от AE6TY.

Считаем согласование выполненным при полученном КСВ от 1.0 до 1.1.

Считаем допустимым КСВ до 1.5. При данном КСВ начинают появляться значения на индикаторе SWR-метре трансивера Yaesu-FT817.

Критические моменты для согласования произвольного импеданса – это активное сопротивление R большее, меньшее или равное 50 Ом, реактивное сопротивление X – положительное, отрицательное или нулевое.

Дополнительно укажем допустимое отклонение ёмкости и индуктивности от идеальной при которой КСВ с 1 увеличивается до 1.5, что необходимо для оценки точности настройки элементов (она разная для разных импедансов).

Все ёмкости измеряются в пФ, индуктивности в мкГн, если не указано особо.

В таблицах отмечены белым – области, несогласуемые данной схемой. Жёлтым – согласование возможно в теории, но может быть затруднено практически. Зеленым – согласование возможно практически.

Как правило, ёмкости менее 5 пФ сложно получить конструктивно, следовательно, согласование можно считать возможным лишь теоретически. Принято допущение, что точно установить ёмкость точнее 1 пФ сложно. Все малые значения отмечены красным. Все большие значения тоже отмечены красным. Можно считать, что для ёмкости – это более 800 пФ - две секции параллельно для КПЕ от приёмника VEF, а для индуктивности - более 24 мкГн, что требует использовать ферриты для сохранения приемлемых размеров.

Обратите внимание на точность установки номиналов элементов, в конечном итоге теоретическое согласование может быть возможным, а практически - трудноосуществимо.

Перейдем к рассмотрению схем согласования и таблиц. По горизонтали отложены значения активных сопротивлений от 1 до 5000 Ом, по вертикали значения реактивных сопротивлений от -1000 Ом до 1000 Ом. Использование таблицы достаточно понятно: клеточка пересечения активного и реактивного сопротивления антенны содержит найденный результат номиналов индуктивности и ёмкости, а также допуски на отклонение от номиналов.

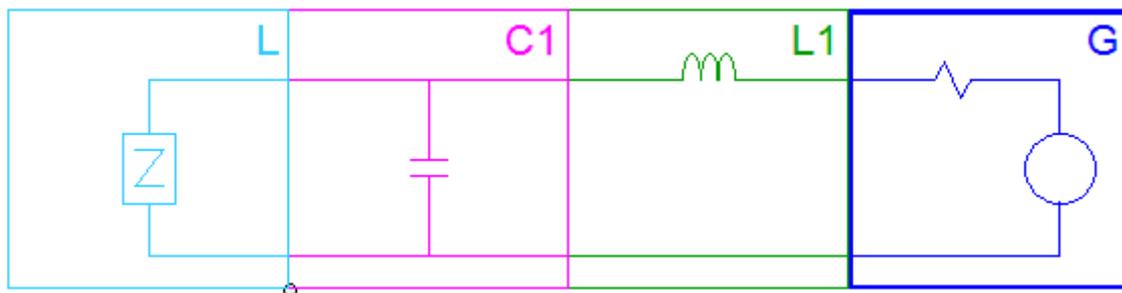


Рис. 3.3.1. Схема 1. $Z_n = C_{нар} + L_{noc} = Z_o$. $F=14$ МГц

Таблица 3.3.1. к Схеме 1. $Z_n = C_{нар} + L_{noc} = Z_o$. $F=14$ МГц

$jX \setminus R$	1	10	50	100	1000	5000
-1000	Нет	Нет	Есть, C=0.59 L=10.81 До КСВ=1.5 dC= 0.255 dL= 0.23	Есть, C=5.343 L=7.758 До КСВ=1.5 dC= 0.477 dL=0.235	Есть, C=30.6 L=3.467 До КСВ=1.5 dC=2.48 dL= 0.238	Есть, C=22.31 L=5.63 До КСВ=1.5 dC=0.93 dL= 0.23
-100	Нет	Нет	Есть, C=1 L=1.1 До КСВ=1.5 dC= 19 dL= 0.26	Есть, C=42.46 L=0.985 До КСВ=1.5 dC=22.87 dL= 0.23	Есть, C=48.6 L=2.472 До КСВ=1.5 dC=4.7 dL=0.232	Есть, C=23.31 L=5.49 До КСВ=1.5 dC= 0.94 dL= 0.235

$jX \setminus R$	1	10	50	100	1000	5000
-10	Нет	Нет	Неполное, C=10.4 L=0.125 До КСВ=1.5 dC= 82 dL= 0.223	Есть, C=102.6 L=0.572 До КСВ=1.5 dC= 48 dL= 0.233	Есть, C=49.6 L=2.479 До КСВ=1.5 dC= 4.5 dL= 0.221	Есть, C=23.14 L=5.525 До КСВ=1.5 dC= 1 dL= 0.236
0	Нет	Нет	Неполное, C=39.4 L=0.098 До КСВ=1.5 dC= 91.4 dL= 0.226	Есть, C=113.3 L=0.568 До КСВ=1.5 dC= 47.7 dL= 0.23	Есть, C=50.11 L=2.448 До КСВ=1.5 dC=4.84 dL= 0.235	Есть, C=23.3 L=5.496 До КСВ=1.5 dC= 1 dL= 0.236
10	Есть, C=1241 L=0.57 До КСВ=1.5 dC= 45 dL= 0.236	Нет	Есть, C=88.84 L=0.113 До КСВ=1.5 dC= 89 dL= 0.237	Есть, C=125.1 L=0.57 До КСВ=1.5 dC= 46 dL= 0.235	Есть, C=50.4 L=2.45 До КСВ=1.5 dC= 5 dL= 0.222	Есть, C=23.3 L=5.49 До КСВ=1.5 dC= 1 dL= 0.253
100	Есть, C=130.7 L=7.545 До КСВ=1.5 dC= 0.5 dL= 0.23	Есть, C=162.3 L=2.465 До КСВ=1.5 dC= 5 dL= 0.23	Есть, C=183.1 L=1.123 До КСВ=1.5 dC= 19.1 dL= 0.235	Есть, C=155.9 L=0.976 До КСВ=1.5 dC=23.9 dL= 0.239	Есть, C=50.61 L=2.477 До КСВ=1.5 dC=4.87 dL= 0.243	Есть, C=23.29 L=5.504 До КСВ=1.5 dC=1 dL=0.236
1000	Есть, C=14.05 L=48.2 До КСВ=1.5 dC= 0.01 dL= 0.22	Есть, C=17.26 L=21.93 До КСВ=1.5 dC= 0.06 dL= 0.22	Есть, C=23.33 L=10.75 До КСВ=1.5 dC= 0.27 dL= 0.23	Есть, C=28 L=7.672 До КСВ=1.5 dC= 0.5 dL= 0.232	Есть, C=41.86 L=3.488 До КСВ=1.5 dC=2.38 dL= 0.228	Есть, C=23.29 L=5.6 До КСВ=1.5 dC= 0.97 dL= 0.324

По схеме 1 согласуются высокоомные антенны как с положительными, так и отрицательными реактивностями и низкоомные антенны с положительными реактивностями. В большинстве случаев точность установки индуктивности 0.23 мкГн, точность установки ёмкости 0.5 пФ. Пределы изменения ёмкости: 5 пФ...183 пФ. Пределы изменения индуктивности: 0.09...7.7 мкГн. Написанное справедливо, для «зеленых зон». Предполагаю, что вряд ли кто-то будет мотать катушку 48 мкГн для диапазона 20М => Не согласуются только низкоомные антенны с отрицательными реактивностями.

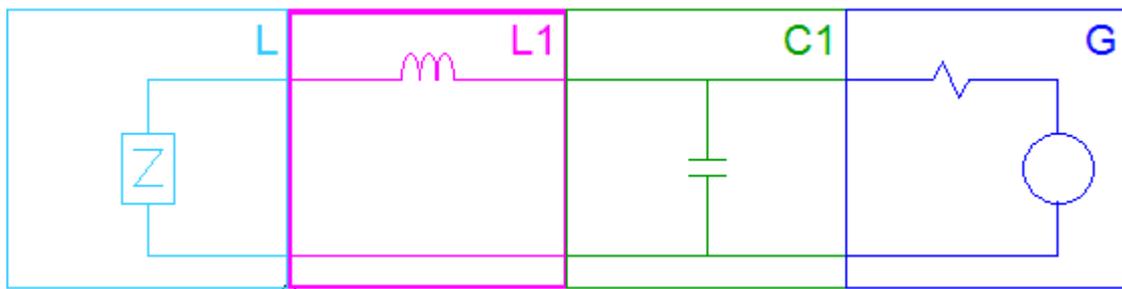


Рис. 3.3.2. Схема 2. $Z_n + L_{noc} + C_{nap} = Z_o$. $F=14$ МГц

Таблица 3.3.2. к Схеме 2. $Z_n + L_{noc} + C_{nap} = Z_o$. $F=14$ МГц

$jX \setminus R$	1	10	50	100	1000	5000
-1000	Есть, $C=605.1$ $L=11.555$ До КСВ=1.5 $dC=97$ $dL=0.025$	Есть, $C=344.8$ $L=11.63$ До КСВ=1.5 $dC=93$ $dL=0.07$	Неполное. $KCB=1.1$ $C=17$ $L=11.4$ $dC=80$ $dL=0.25$	Нет	Нет	Нет
-100	Есть, $C=1279$ $L=1.235$ До КСВ=1.5 $dC=92$ $dL=0.007$	Есть, $C=438.4$ $L=1.369$ До КСВ=1.5 $dC=93$ $dL=0.05$	Есть, $C=10$ $L=1.16$ До КСВ=1.5 $dC=92$ $dL=0.235$	Нет	Нет	Нет
-10	Есть, $C=1511$ $L=0.197$ До КСВ=1.5 $dC=93$ $dL=0.005$	Есть, $C=449$ $L=0.343$ До КСВ=1.5 $dC=89$ $dL=0.046$	Неполное. $C=34,3$ $L=0.199$ До КСВ=1.5 $dC=93$ $dL=0.229$	Нет	Нет	Нет
0	Есть, $C=1564$ $L=0.08$ До КСВ=1.5 $dC=94$ $dL=0.005$	Есть, $C=455$ $L=0.227$ До КСВ=1.5 $dC=91$ $dL=0.047$	Есть, $C=27$ $L=0.1$ До КСВ=1.5 $dC=104$ $dL=0.209$	Нет	Нет	Нет
10	Нет	Есть, $C=453$ $L=0.114$ До КСВ=1.5 $dC=95$ $dL=0.05$	Неполное. $KCB=1.1$ $C=61$ $L=0.058$ $dC=35$ $dL=0.2$	Нет	Нет	Нет
100	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
1000	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет

В большинстве случаев точность установки индуктивности 0.05 мкГн, точность установки ёмкости 93 пФ. Пределы изменения ёмкости: 80 пФ...104 пФ. Пределы изменения индуктивности: 0.1...11.4 мкГн. Написанное справедливо, для «зеленых зон».

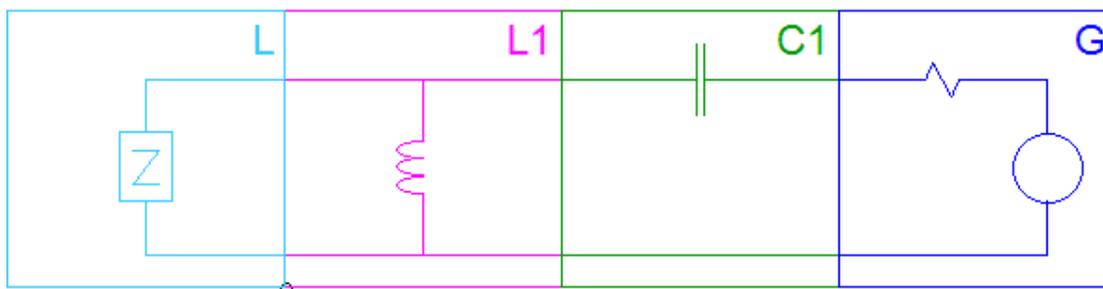


Рис. 3.3.3. Схема 3 $Z_n = L_{nap} + C_{noc} = Z_o$. $F=14$ МГц

Таблица 3.3.3. к Схеме 3. $Z_n = L_{нар} + C_{нос} = Z_0$. $F=14$ МГц

$jX \setminus R$	1	10	50	100	1000	5000
-1000	Есть, C=4.59 L=8.098 До КСВ=1.5 dC= 0.044 dL= 0.016	Есть, C=6.876 L=7.085 До КСВ=1.5 dC= 0.089 dL= 0.036	Есть, C=12.4 L=5.43 До КСВ=1.5 dC= 0.3 dL= 0.088	Есть, C= 17.06 L= 4.58 До КСВ=1.5 dC=0.5 dL= 0.092	Есть, C= 36.91 L= 3.1 До КСВ=1.5 dC=2.7 dL=0.194	Есть, C= 23.09 L= 5.552 До КСВ=1.5 dC=1 dL=0.232
-100	Есть, C=20.41 L=0.965 До КСВ=1.5 dC= 0.77 dL= 0.005	Есть, C=53.67 L=0.79 До КСВ=1.5 dC= 5.96 dL= 0.024	Есть, C=115.1 L=0.708 До КСВ=1.5 dC= 30 dL=0.09	Есть, C= 132.2 L= 0.831 До КСВ=1.5 dC=43 dL=0.143	Есть, C= 52.15 L= 2.549 До КСВ=1.5 dC=5.45 dL=0.251	Есть, C= 23.34 L= 5.585 До КСВ=1.5 dC=1 dL=0.245
-10	Есть, C=237.71 L=0.104 До КСВ=1.5 dC= 184 dL= 0.004	Нет	Есть, C=1036 L=1.419 До КСВ=1.5 dC= 673* dL=0.705	Есть, C=225 L=1.026 До КСВ=1.5 dC= 153 dL=0.643	Есть, C=52.86 L=2.578 До КСВ=1.5 dC= 5 dL=0.258	Есть, C=23.59 L=5.528 До КСВ=1.5 dC= 1 dL=0.254
0	Нет	Нет	Есть, неполное C=1904 L=1 До КСВ=1.5 dC= 1457* dL= 4	Есть, C= 230 L= 1.142 До КСВ=1.5 dC=155 dL=0.773	Есть, C= 53 L= 2.57 До КСВ=1.5 dC=5 dL=0.248	Есть, C= 23.4 L= 5.584 До КСВ=1.5 dC=1 dL=0.239
10	Нет	Нет	Есть, неполное C=730 L=10.82 До КСВ=1.5 dC= 421* dL= 9.36	Есть, C= 223 L= 1.329 До КСВ=1.5 dC=148 dL=1.186	Есть, C= 52 L= 2.591 До КСВ=1.5 dC=5 dL=0.31	Есть, C= 23.43 L= 5.58 До КСВ=1.5 dC=1 dL=0.238
100	Нет	Нет	Есть, неполное C=114 L=127 До КСВ=1.5 dC= 30 dL= 121*	Есть, C= 131 L= 3.114 До КСВ=1.5 dC=41 dL=3.83	Есть, C= 52.54 L= 2.654 До КСВ=1.5 dC=5.5 dL=0.278	Есть, C= 23.4 L= 5.595 До КСВ=1.5 dC=1 dL=0.246
1000	Нет	Нет	Есть, C=11.4 L=2688 До КСВ=1.5 dC= 0.25 dL= 2210 *	Есть, C= 16 L= 26.38 До КСВ=1.5 dC=0.5 dL=2.76	Есть, C= 36.76 L= 4.28 До КСВ=1.5 dC=2.66 dL=0.376	Есть, C= 22.98 L= 5.789 До КСВ=1.5 dC=1 dL=0.259

* Здесь уменьшались индуктивность / ёмкость. Увеличение не ухудшает согласование.

Согласуются высокоомные антенны как с положительными, так и отрицательными реактивностями и низкоомные антенны с отрицательными реактивностями В большинстве случаев точность установки индуктивности 0.2 мкГн, точность установки ёмкости 2 пФ.

Пределы изменения ёмкости: 36 пФ...230 пФ. Пределы изменения индуктивности: 1.1...4.3 мкГн. Все справедливо, для «зеленых зон». Экстремально большие ёмкости и индуктивности отмечены красным, вряд ли кто-то их будет делать. Не согласуются только низкоомные антенны с положительными реактивностями.

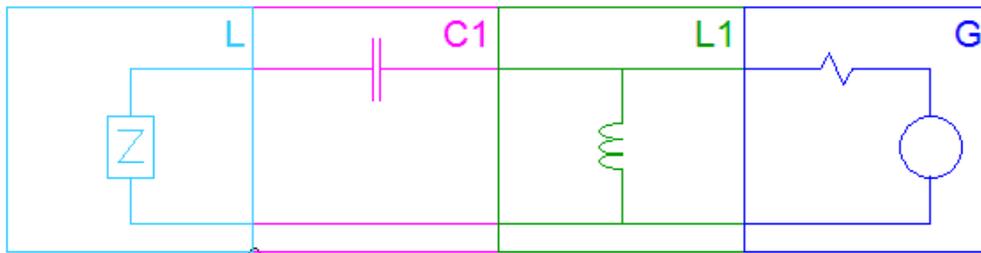


Рис. 3.3.4. Схема 4 $Z_n = C_{noc} + L_{nap} = Z_o$. $F=14$ МГц

Таблица 3.3.4. к Схеме 4. $Z_n = C_{noc} + L_{nap} = Z_o$. $F=14$ МГц

$jX \setminus R$	1	10	50	100	1000	5000
-1000	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
-100	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет
-10	Нет	Есть, C= 1124 L= 0.285 До КСВ=1.5 dC=848 dL=0.074	Неполное, C= 2410 L= 1.998 До КСВ=1.5 dC=1934 * dL=1.160 *	Нет	Нет	Нет
0	Есть, C= 1595 L= 0.082 До КСВ=1.5 dC=101 dL=0.005	Есть, C= 566.7 L= 0.284 До КСВ=1.5 dC=147 dL=0.074	Есть, неполное C= 934 L= 2.528 До КСВ=1.5 dC=583 * dL=1.597 *	Нет	Нет	Нет
10	Есть, C= 663.9 L= 0.083 До КСВ=1.5 dC=16 dL=0.004	Есть, C= 374.7 L= 0.287 До КСВ=1.5 dC=61 dL=0.07	Есть, C= 883.7 L= 8.903 До КСВ=1.5 dC=543* dL=7.7	Нет	Нет	Нет
100	Есть, C= 105.9 L= 0.085 До КСВ=1.5 dC=0.4 dL=0.005	Есть, C= 94,59 L= 0.287 До КСВ=1.5 dC=3.4 dL=0.075	Есть, неполное C= 105.2 L= 3.519 До КСВ=1.5 dC=24.7 dL=2.479 *	Нет	Нет	Нет
1000	Есть, C= 11.268 L= 0.101 До КСВ=1.5 dC= 0.007 dL= 0,009	Есть, C= 11.138 L= 0.296 До КСВ=1.5 dC= 0.047 dL= 0.076	Есть, неполное C= 11.25 L= 3.024 До КСВ=1.5 dC=0.24 dL=2.062 *	Нет	Нет	Нет

* Здесь уменьшались индуктивность / ёмкость. Увеличение не ухудшает согласование.

Согласуются низкоомные и 50-омные антенны с положительными реактивностями. В большинстве случаев точность установки индуктивности 0.05 мкГн, точность установки ёмкости 24 пФ. Пределы изменения ёмкости: 100 пФ...904 пФ. Пределы изменения индуктивности: 3...4 мкГн.

Почти во всех случаях для допуска КСВ менее 1.5 точность установки индуктивности (dL) должна быть не хуже 0.23 мкГн (на 14 МГц).

Все таблицы рассчитаны для частоты 14 МГц. Значения ёмкости и индуктивности на других частотах, обратно пропорциональны частоте. При понижении частоты в два раза, индуктивность и ёмкость нужно увеличить в 2 раза.

Пример: на частоте 14 МГц, антенна с $R=1000$ и $X=-1000$ согласуется Схемой 1 $Z_n = \text{Спар} + L_{\text{пос}} = Z_0$, где

$\text{Спар}=30.6$, $L_{\text{пос}}=3.467$, а на частоте 7 МГц значения становятся $\text{Спар}=60.4$, $L_{\text{пос}}=7.023$. Допуски на отклонение от расчетного также увеличиваются в 2 раза.

Неполным согласованием назовём невозможность согласовать точно, используя элементы разумных номиналов (до 1500 пФ, до 40 мкГн), при этом можно приблизиться к окрестности центра диаграммы Смита с КСВ менее 1.1, что в большинстве случаев допустимо и согласование можно считать выполненным.

По итогу рассмотрения таблиц я бы рекомендовал к использованию схему №1, как более просто практически реализуемую (больше зеленых областей). Схемы №2 и №4 являются дополнениями к схемам №1 и №3, и могут быть применены в очень ограниченных случаях.

Посмотрим теперь на диаграммы Смита. Они показывают полученные таблицы в графическом виде, в особой системе координат. В центре диаграммы расположена точка $R=50$ Ом, и $\text{КСВ}=1.0$.

Окружности, нарастающие из правой стороны диаграммы – окружности равных сопротивлений. (оранжевые).

Окружности, нарастающие из левой стороны диаграммы (синие) – окружности равных проводимостей.

Реактивные сопротивления исходят из правой стороны диаграммы – оранжевые, полуокружности.

Реактивные проводимости исходят из левой стороны диаграммы – синие, полуокружности. На такой диаграмме всегда можно отметить точку импеданса антенны $Z_n = R + jX$, который следует привести к точке единичного КСВ – в центре диаграммы, чем и занимается любой антенный тюнер.

Я разместил схемы СУ на диаграммах Смита в областях импедансов, которые может согласовать данная схема.

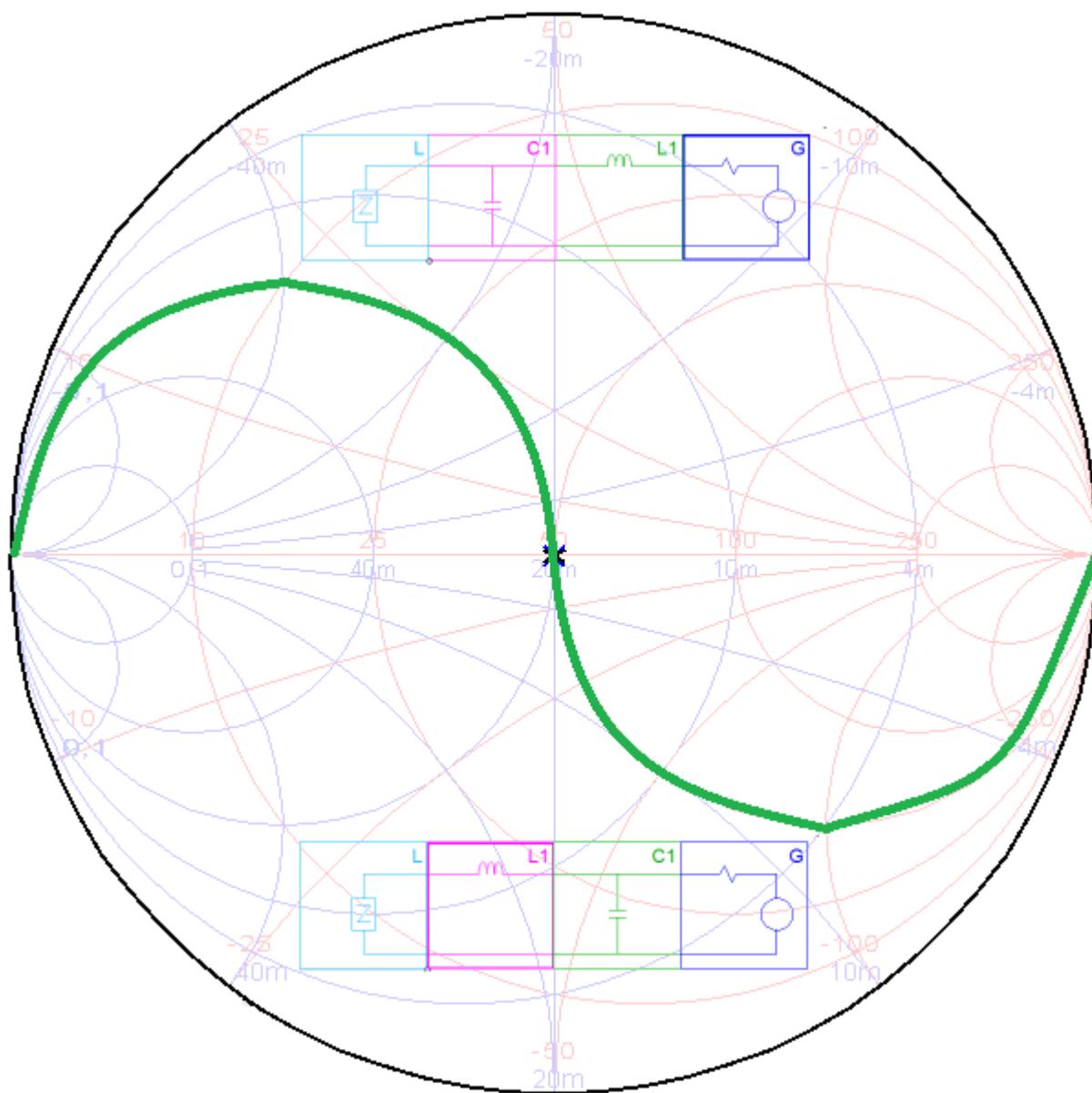


Рис. 3.3.5. Схемы №1 и №2 и их области согласования

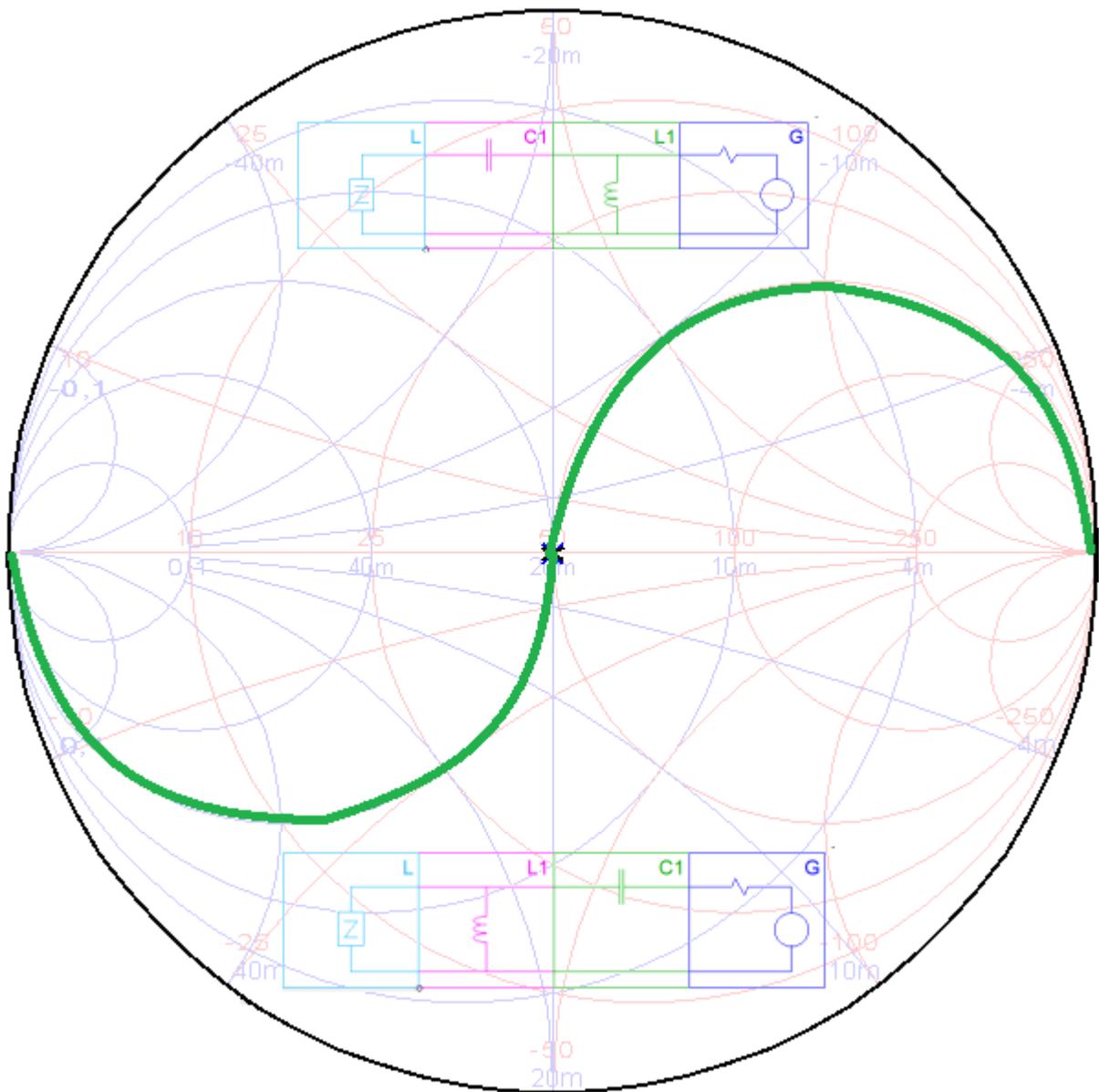


Рис. 3.3.6. Схемы №3 и №4 и их области согласования

Остались нерассмотренными варианты согласования парой катушек и парой конденсаторов. Согласно [1]

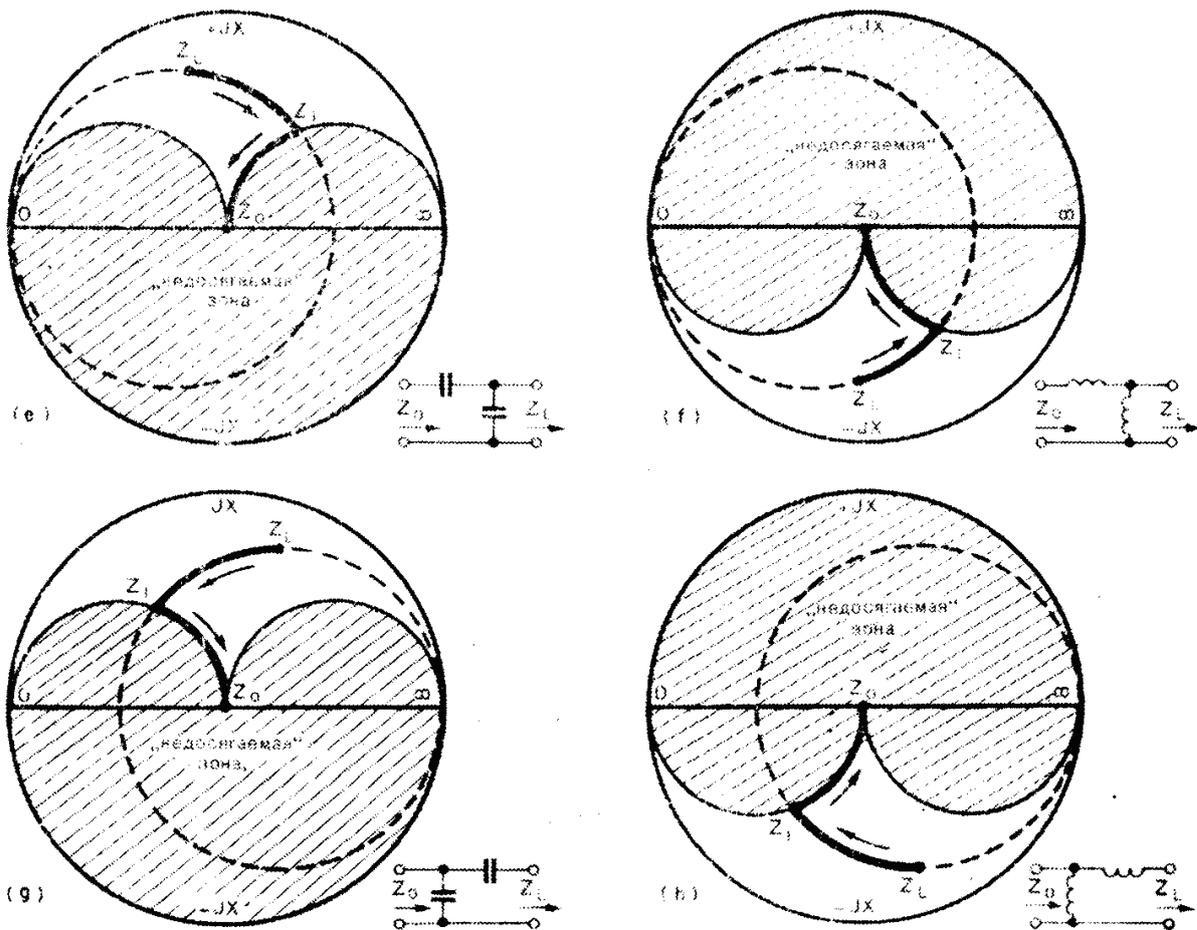


Рис. 3.3.7. Схемы C+C и L+L и их области согласования

Видно, что данные схемы согласуют нагрузки только с активным сопротивлением менее 50 Ом, и по-видимому не нашли широкого применения у радиолюбителей.

Приведем пример практического использования представленных таблиц. Согласуем антенну «Луч», описанную в разделе 3.2.

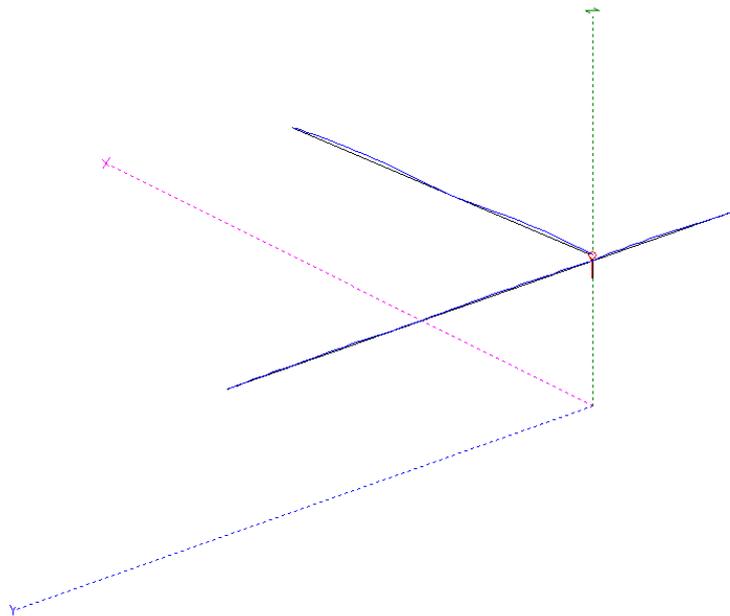


Рис. 3.3.8. Модель антенны – луча с рамой заземления

На 14 МГц при согласовании по схеме №1 получаю $L=4.6$ мкГн, $C=30$ пФ. По табл. 3.3.1 нахожу, что $R_a \geq 1000$ Ом, $X \geq 1000$ j Ом. Согласование выполнено.

Схема №2 не выполняет согласование.

По Схеме №3 согласование с $L=4.6$ мкГн, $C=28$ пФ. По табл. 3.3.3 нахожу, что $R_a \geq 1000$ Ом, $X \geq 1000$ j Ом

По Схеме №4 получил согласование с $L=4.6$ мкГн, $C=23$ пФ. По табл. 3.3.4 таких значений нет, либо мое согласование, зафиксированное по показаниям FT-817 неполное.

На 7 МГц не забываем уменьшать измеренные значения L и C в 2 раза, т.к. для того же импеданса антенны на 20М – нужны меньшие значения L и C .

При согласовании по схеме №1 получаю $L=1.1$ мкГн, $C=250$ пФ. По табл. 3.3.1 ищу ($L=0.55$, $C=125$), следовательно, $R_a \leq 100$ Ом, $X \geq 10$ j Ом. Согласование выполнено. А луч совместно с землей (рама балкона), близок по импедансу к диполю.

Схема №2 не выполняет согласование.

По Схеме №3 согласование с $L=8.2$ мкГн, $C=250$ пФ. По табл. 3.3.3 ищу ($L=4.1$, $C=125$), следовательно, $R_a \leq 100$ Ом, $X \leq 100$ j Ом

По Схеме №4 получил согласование с $L=1.2$ мкГн (8.2), $C=23$ пФ (210). По табл. 3.3.4 для пар (0.6, 4.1 мкГн с 90, 105 пФ) значений нет, ближайшее значение импеданса $R_a \geq 50$ Ом, $X \geq 10$ j Ом. Также оценим импеданс антенны с согласованием по Схеме №1 на других ВЧ-диапазонах и сведём данные в табл. 3.3.5.

Таблица 3.3.5. Оценка импеданса антенны «Луч» на разных частотах

Диапазон	C, пФ	L, мкГн	Стаб, пФ *	Лтаб, пФ *	Ra, Ом	X, j Ом
10М	8	0.8	16	1.6	50...100	-100... -10
12М	50	0.3	89.2	0.53	50...100	-10...0
15М	50	0.57	75	0.855	100	-100...-10
17М	62	0.57	79	0.68	100	-100...-10
20М	30	4.6	30	4.6	1000	1000
30М	57	8.2	40	5.8	1000	(? 1000)
40М	250	1.1	125	0.55	50...100	10...100

* Пересчитанные значения к таблице на 20М.

Таким образом задача практической оценки импеданса антенны решена.

Дополнительная информация:

[1] «Согласование произвольных антенн двухэлементными LC-цепями»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/09/lc.html>

[2] Александр Дошич, UY0LL, «Применение диаграммы Смита при согласовании устройств», <http://ra6foo.qrz.ru/smith.html>

[3] Игорь Гончаренко, DL2KQ «Сравнение тюнеров», <http://dl2kq.de/ant/3-100.htm>

[4] Г.Члиянц, В.Гончарский «Универсальное согласующее устройство» КВ журнал 1992, 2

[5] Николай Левочкин, «Простой антенный тюнер» http://rfanat.ru/s15/su_ua3tcw.html

[6] Иван (RA3WDK), «Дешевый тюнер для импортных (и не очень) трансиверов» http://rfanat.ru/s14/ant41_06.html

[7] Hendricks QRP Kits, «BLTplus» <http://qrpkits.com/files/BLTplusManualv21.pdf>

3.4 Кнопочный T-тюнер на дискретных элементах

Существует множество схем согласующих устройств самые простые из которых состоят всего из двух элементов: ёмкости и индуктивности (возможны и варианты ёмкость-ёмкость, индуктивность-индуктивность).

Здесь рассмотрим трёхэлементный тюнер, т.к. он позволяет осуществлять более точную настройку, чем двухэлементный. Используем «Т-схему», т.к. при её использовании требуются минимально возможные номиналы ёмкостей [1].

Схема тюнера представлена на рис. 3.4.1.

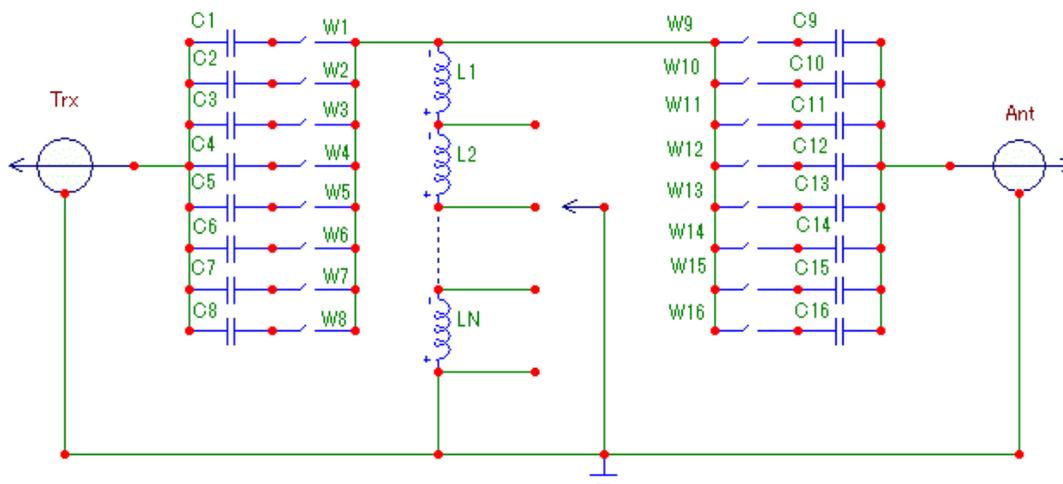


Рис. 3.4.1. Схема Т-тюнера

Описание конструкции:

Катушка тюнера наматывается жестким медным проводом диаметром 0.8 ... 1.2 мм. В качестве каркаса можно использовать линейку длиной около 14 см, в которой необходимо проделать два ряда отверстий с шагом 3 мм и расстоянием между рядами (они определяют диаметр катушки) около 30 мм.

Провод катушки предварительно нужно намотать на трубку с диаметром около 30 мм, после такой укладки он сохранит форму и будет легко наматываться на каркас. Для описываемой конструкции понадобится примерно 3.7 м провода.

При такой длине каркаса на него помещается около сорока витков. Дополнительную фиксацию намотки можно выполнить клеевым пистолетом.

После изготовления катушки, на ней нужно разметить, зачистить и облудить места подключения отводов.

В табл. 3.4.1 приведены рассчитанные значения индуктивностей в программе «Coil_32» [2]

Таблица 3.4.1. Расчетные значения индуктивностей.

Отвод	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виток	0,2	1	2	3	4	5	7	10	15	21	40
L, мкГн	0,006	0,071	0,214	0,402	0,62	0,86	1,386	2,246	3,772	5,672	11,838

Отводы отсчитываются по схеме Рис. 3.2.1 сверху вниз. Максимальной индуктивности соответствует полная длина катушки.

Переменные ёмкости строятся на восьмикнопочных кассетных переключателях, с помощью которых возможно набрать практически любое значение ёмкости в пределах от 2 пФ (включение минимальной ёмкости) до 648 пФ (включение всех ёмкостей). Дискретные ёмкости напаиваются на переключатели.

Таблица 3.4.2. Номиналы ёмкостей.

C, пФ	2	5	10	22	47	82	150	330
-------	---	---	----	----	----	----	-----	-----

Вся конструкция собирается в железном или пластиковом корпусе, на котором крепятся кассетные переключатели ёмкостей, галетный переключатель индуктивности, разъёмы BNC для подключения к трансиверу, разъёмы подключения полотна антенны и противовеса.



Рис. 3.4.2. Внешний вид собранного устройства [3]



Рис. 3.4.3. Монтаж компонентов тюнера

Выход передатчика подключается к гнезду типа BNC, антенна «Луч» к гнезду «Антенна», а противовес или заземление к гнезду «GND». Для лучей с электрической длиной более $\lambda/2$ согласование выполняется наиболее просто. Для коротких антенн с электрической длиной менее $\lambda/2$ согласование выполнить сложнее, при этом требуется хорошая радиотехническое заземление. [4]

Важно помнить, что мощность, с которой может работать представленный тюнер, не превышает 5 Вт, что связано с низким напряжением пробоя применённых конденсаторов (около 50 В).

Установив недалеко от начала полотна антенны датчик поля см. раздел 3.1, кратковременно включаем передатчик и подбираем значения индуктивности и ёмкостей, при которых значение наведённой ЭДС - максимально. Следует быть осторожным при настройке, т.к. большая мощность, подводимая к несогласованной антенне, может повредить передатчик. Настраивайте вашу антенну на минимально возможной мощности!

Если же у вас есть только приёмник, настройка выполняется по уровню принимаемого шума эфира, чем он громче, тем лучше согласование луча и больше передача энергии от антенны в приёмник на используемой частоте.

Для понимания порядка величин, приведу значения ёмкостей и индуктивностей луча длиной 9.5 метров с заземлением на раму балкона. Высота луча - 3...4 метра от уровня земли.

Таблица 3.4.3. Номиналы реактивностей в тюнере для полотна длиной 9.5 метра

Диапазон	Ст, пФ	Са, пФ	L, мкГн
40М	330	330	5.7
30М	22	47	5.7
20М	22+2	330	2.2
17М	2+5	5	2.2
15М	47	22	0.6
12М	2+10	150+330	0.6
10М	2+5	82	0.9

Са – ёмкость со стороны антенны, Ст – ёмкость со стороны трансивера, L - индуктивность

В описываемом устройстве максимальная индуктивность около 11.8 мкГн, что обеспечивает согласование в диапазонах от 10М до 40М. Для работы на 80М и 160М индуктивность катушки должна быть увеличена.

Для изготовления тюнера можно использовать и другие номиналы элементов, т.к. заранее их точное значение для антенны «Луч» не угадать. Можно использовать и переменные конденсаторы, и наборы переключаемых отдельных катушек как бескаркасных, так и на ферритовых кольцах.

Дополнительная информация:

[1] И.Гончаренко, DL2KQ, «Сравнение тюнеров», <http://dl2kq.de/ant/3-100.htm>

[2] Программа расчета индуктивности, <http://coil32.ru>

[3] Лавриненков И.С. "Антенный QRP тюнер на дискретных элементах.", Электронный журнал CQ-QRP #59 (Лето 2017)

[4] И.Гончаренко «Антенны КВ и УКВ»

[5] F6BPO, «Конструкции тюнеров»,

<http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM07/RM07m.htm>

3.5 Магнитная рамочная антенна

Не всегда имеется возможность установить внешнюю коротковолновую антенну, поэтому предлагаемый здесь вариант может быть полезен. Магнитная рамочная антенна (Магнитная петля, «Magnetic Loop», ML) – сильно укороченная антенна, можно даже сказать, что это - колебательный контур, состоящий из рамки (индуктивности) и конденсатора настройки, подключенного к ней см. рис. 3.5.1.

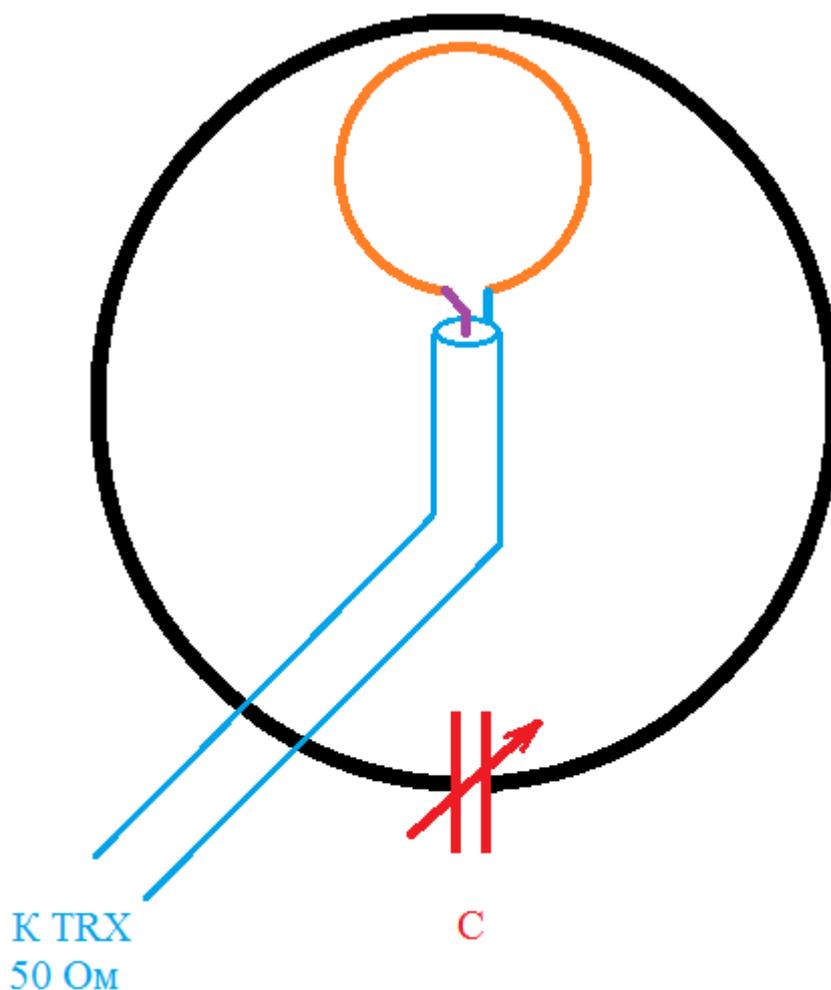


Рис. 3.5.1. Схема магнитной рамочной антенны

Обычно периметр рамки имеет длину от 0.03 до 0.25λ . Для эффективной работы периметр должен быть не менее $0,08$ длины волны, на которую проектируется рамка.

Для подключения рамки к коаксиальному кабелю с волновым сопротивлением 50 Ом существуют несколько способов согласования, но чаще всего и проще использовать петлю связи. Рекомендуется размер петли связи с диаметром равным $1/5$ диаметра большой рамки. Настройка антенны ведется конденсатором по максимуму принимаемых шумов, по минимуму КСВ или по максимальным показаниям датчика поля в окрестности антенны. Если минимум КСВ определен, но превышает 1.5 , можно попробовать увеличивать диаметр петли связи вплоть до $1/2$ диаметра основной рамки или приблизить петлю связи к основной рамке.

Изготовление антенны следует начать с подбора материала для большой петли. Это может быть спортивный алюминиевый обруч, отрезок армированной пластиковой водопроводной трубы, согнутый коаксиальный кабель или просто кусок проволоки.

Далее оцениваем индуктивность полученной рамки по эмпирической формуле F.W.Grover:

$$L = 0.0002 * \pi * D * [\ln(8D/d) - 1.75]$$

где L – индуктивность в мкГн;

D – диаметр петли;

d - диаметр проводника петли.

Рабочую частоту антенны находим по формуле колебательного контура (формула Томпсона):

$$F = 1/[2 \pi * \sqrt{L * C}]$$

где F – частота в Гц;

L – индуктивность в Гн;

C - ёмкость в Ф.

Допустим у вас петля из алюминиевого обруча с диаметром 900 мм и диаметром трубки 17 мм, этим значениям соответствует индуктивность 2.43 мкГн. Переменный конденсатор от 5 пФ до 180 пФ. Подставляем эти значения в формулы колебательного контура и находим границы рабочего диапазона данной антенны 7.61 МГц до 45.67 МГц. Антенна перекрывает диапазоны от 30М до 10М, а вот диапазон 40М не вошел. Для того, чтобы его добавить придется параллельно к переменной ёмкости подключить еще конденсатор на 40 пФ, либо изготовить петлю большего диаметра. Показанный расчет магнитной рамки не учитывает многих факторов, поэтому ваш конденсатор должен быть с необходимым запасом по подстройке в желаемом диапазоне!

Магнитная рамка обладает очень низким сопротивлением излучения, сотые доли Ом, поэтому следует обеспечить наилучший контакт между конденсатором и рамкой, желательно пайкой, для минимизации омических потерь.

Поскольку перестройка по диапазону очень острая, желательно конденсатор подключать статорами. Как правило в конденсаторе есть выводы вращающегося ротора и двух неподвижных статоров. Выполняя подключение статорами мы по сути делаем последовательное соединение двух ёмкостей, и уменьшаем пределы изменения общей ёмкости.

Вторая причина подключения статорами – избежать омических потерь на контакте вращающегося ротора.

Для показанных размеров петли – обруча, изготовил две петли связи: Большая петля с D=45 см, d = 2.5 мм, L = 1,561 мкГн и Малая петля с D=23 см, d = 1 мм, L = 0,833 мкГн.

Посмотрим, используя трансивер Yaesu-FT817, на каких частотах получится настройка и какие нужно использовать ёмкости.

Таблица 3.5.1. Перекрываемые диапазоны магнитной рамки

Большая петля D=45 см, d = 2.5 мм, L = 1,561 мкГн				
Диапазон, М	Полоса, кГц	SWR-метр	Оценка КСВ	Ёмкость, пФ
40	70	0	<1.5	200
30	(75)	2	>1.8	90
20	(430)	4	>3	50
17	40	0	<1.5	35
15	(150)	3	>2	25
12	(800)	4	>3	15
10	-	5	>4	10
Малая петля D=23 см, d = 1 мм, L = 0,833 мкГн				
80	(300)	4	>3	800
40	(100)	4	>3	250
30	15	0	<1.5	100
20	(55)	2	>1.8	70
17	35	0	<1.5	50

15	45	0	<1.5	35
12	100	0	<1.5	20
10	95	0	<1.5	15

В скобках указана полоса частот, в которых КСВ не более обозначенного в таблице. Жирным выделены диапазоны доступные для работы с данными петлями.

Магнитная рамка может работать на передачу, но для этого её нужно устанавливать за пределами помещений на максимально открытом пространстве. Учитывайте максимальную мощность, подводимую к антенне, т.к. на резонансе, на конденсаторе будет высокое напряжение, способное пробить его. В большинстве случаев мощность до 5 Вт не приводит к пробое.

Практически, магнитная рамка с диаметром 0.9 м, показывает аналогичные результаты по приёму сигналов на диапазоне 40М, как и антенна – луч длиной в четверть волны. На передачу результат получается хуже, скорее всего из-за обозначенных омических потерь. Здесь легко потерять 1-2 балла (6-12 дБ) своего полезного сигнала [3],[8]

Посмотрим теперь на диаграммы направленности антенны «Магнитная рамка».

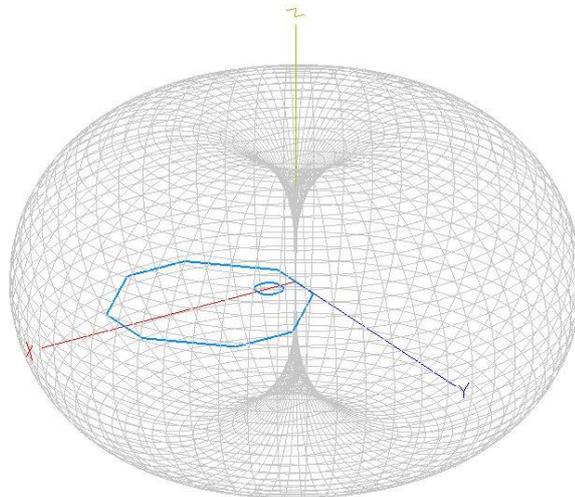


Рис. 3.5.2. Для горизонтальной составляющей ЭМ-поля

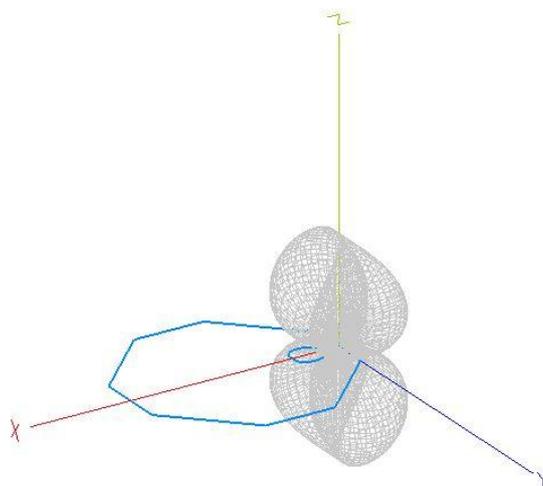


Рис. 3.5.3. Для вертикальной составляющей ЭМ-поля

Заметен минимум диаграммы в горизонтальной поляризации, отходящий по нормали от рамки. Зная эту особенность, направляем этот минимум на помеху, чтобы улучшить приём полезных сигналов. Вертикальная составляющая ДНА существенно меньше горизонтальной, поэтому ей можно пренебречь.

Стоит рассказать и об экранировке магнитной рамки. Пусть описанный выше обруч будет экраном для рамки из толстого медного провода с диаметром $d = 2$ мм (три кв.мм), а петля связи сделана из коаксиального кабеля, подключенного особым образом.

Согласно рекомендациям книги К.К. Венскаускаса "Радиопомехи и борьба с ними", антенна собирается как показывает левая часть рис. 3.5.4, однако, по-моему, проще сделать, как показано на правой части рисунка.

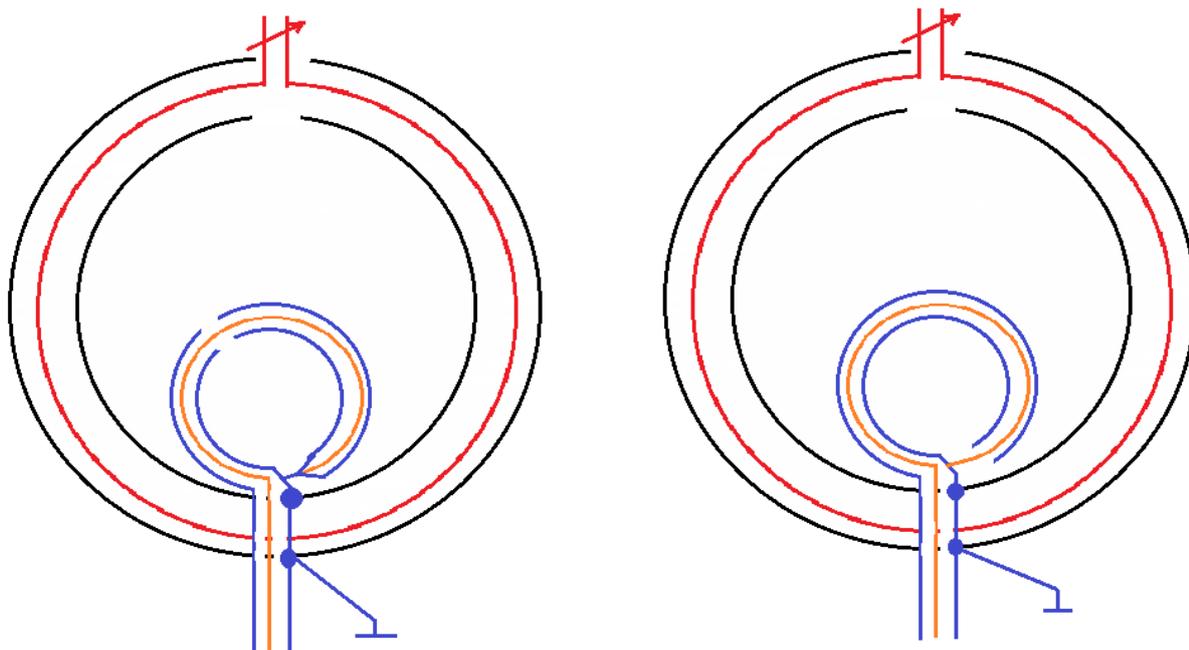


Рис. 3.5.4. Схема экранированной антенны магнитная рамка

Экран основной петли и петли связи не делает короткозамкнутого витка.
Уточню, что рамка с $D = 92.5$ см, а петля связи с $d = 17$ см.



Рис. 3.5.5. Подключение экранированной петли связи

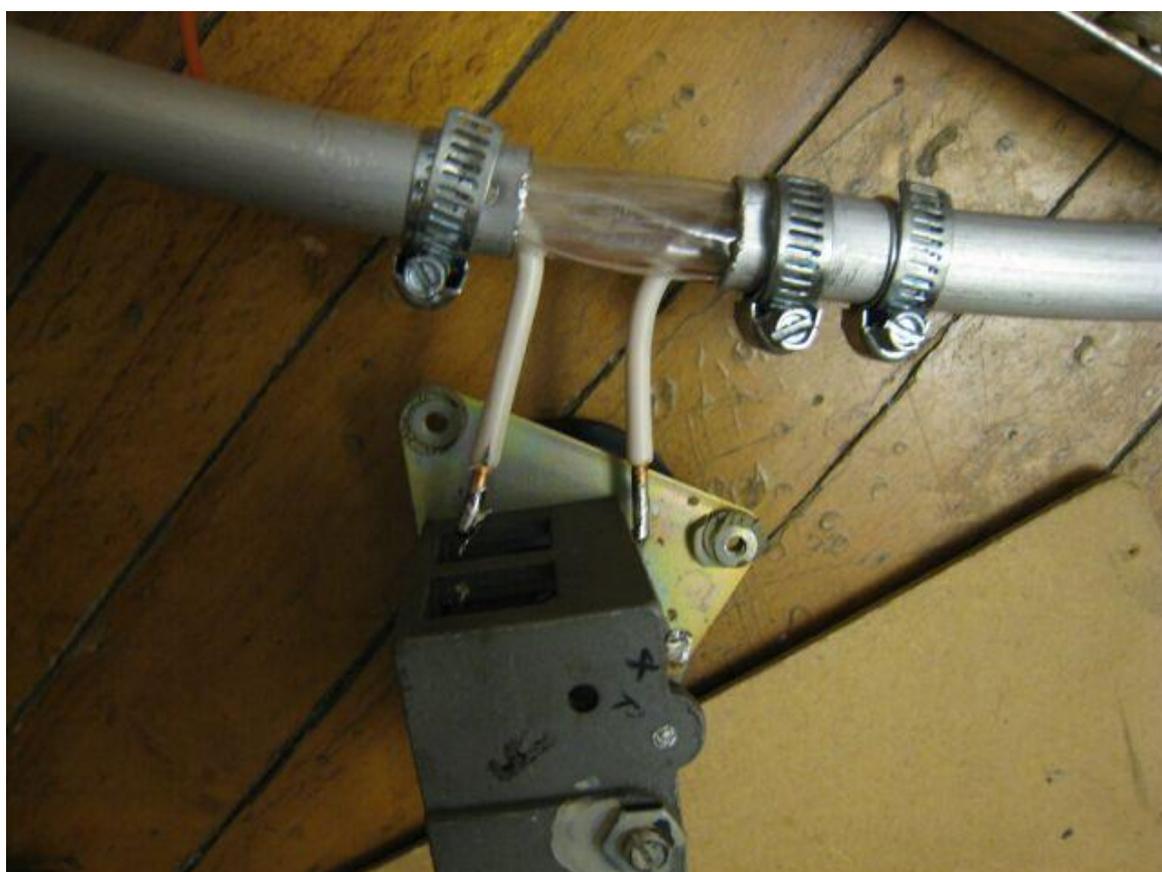


Рис. 3.5.6. Подключение конденсатора настройки

Здесь подключен один статор и ротор (ёмкость около 395 пФ). Если подключить конденсатор статорами, ёмкость будет примерно 200 пФ, а устойчивость к пробоем выше. Если подключить два статора в параллель и ротор ёмкость будет около 800 пФ, что может пригодиться для низкочастотного диапазона 80М.

Экран антенны, подключенный к «хорошей земле», сможет уменьшить количество помех. Если же «хорошей земли» нет, то не стоит рассчитывать на полезный эффект.

Сравнивать разные антенны достаточно сложно, т.к. диаграммы направленности разные, а принимаемые сигналы могут приходить с разных направлений. Например, на рис. 3.5.7 показано, что сравниваемые сигналы не отличаются по силе при работе четвертьволнового луча и магнитной рамки. Однако часто можно наблюдать, что некоторые сигналы лучше принимаются одной антенной, а иногда лучше другой антенной.

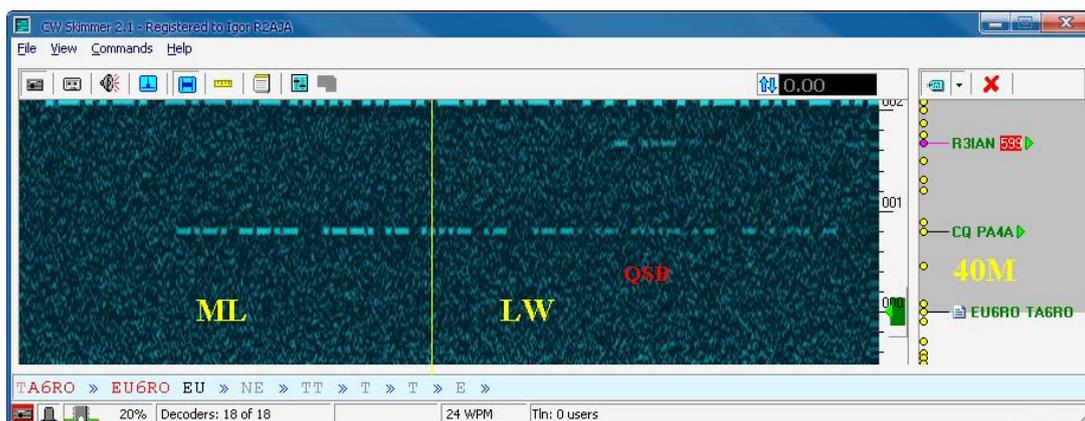


Рис. 3.5.7. Выполнение сравнения уровней сигналов с помощью «CW Skimmer»

Представленная антенна с диаметром 900 мм по приёму может соперничать с четвертьволновым лучом на 40М, но определенно уступает полуволновому диполю на 20М.

«Magnetic Loop» больше стационарная антенна, чем полевая. Благодаря своей узкой полосе отлично подойдет для работы с диапазонным скиммером или радиомаяком.

Варианты изготовленных антенн посмотрим на следующих иллюстрациях.



Рис. 3.5.8. Антенна ML с большой и малой петлёй связи



Рис. 3.5.9. Антенна ML в форме дельты из телескопических «усов»



Рис. 3.5.10. Антенна МL экранированная с подключением «земли»



Рис. 3.5.11. Переносная магнитная рамка $D=42$ см

Антенна – магнитная рамка - это уникальный шанс слушать КВ и, при определенных условиях, передавать, даже когда совершенно нет возможности сделать наружную антенну.

Дополнительная информация:

- [1] «Оценка направленности Magnetic Loop»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2016/10/magnetic-loop.html>
- [2] «Сравнение Magnetic Loop с разными петлями связи»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2016/11/magnetic-loop-c-wspr.html>
- [3] «Натурные испытания антенн Magnetic Loop и InvertedV (40M)»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2016/12/magnetic-loop-inverted-v.html>
- [4] «Сравнение рамочной (петлевой) и штыревой антенны»
http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/01/blog-post_18.html
- [5] «Inverted Delta Magnetic Loop Антенна»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/01/inverted-delta-magnetic-loop.html>
- [6] «Экранированная Magnetic Loop»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/02/magnetic-loop.html>
- [7] К.К. Венскаускас "Радиопомехи и борьба с ними" 1988/3, "Знание", Москва.
- [8] «Сравнение антенн Inverted-V и Magnetic Loop на 20M»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/04/inverted-v-magnetic-loop-20.html>
- [9] И.Н.Григоров (RK3ZK) «Магнитные рамочные антенны».
- [10] И. Н. Григоров RK3ZK «Передающие магнитные рамочные антенны»
- [11] «Использование дросселя в петле связи антенны Магнитная петля (ML)»
<http://lavrinenkov.blogspot.com/2019/02/ml.html>

3.6 Ферритовая антенна

Частный случай магнитной рамки – ферритовая антенна. Схема подключения и диаграммы направленности соответствуют рис. 3.5.1, рис. 3.5.2, рис. 3.5.3. Максимальный приём сигнала ведётся с направлений, перпендикулярных стержню.

Для изготовления антенны вам понадобится ферритовый стержень длиной 10-20 см. Параметры контурной катушки: 20 витков, проводом 0.15 мм, межвитковые расстояния 0.17 мм. Катушка связи: от 1 до 3 витков. Длина намотки около 4 мм. Активное сопротивление контурной катушки около 1.5 Ома. Расстояние между катушками около 1 см. Настройка проводится переменной ёмкостью по максимуму шумов. Не стоит забывать, что эта антенна работает только на приём! Пример изготовленной ферритовой антенны показан на рис. 3.6.1.

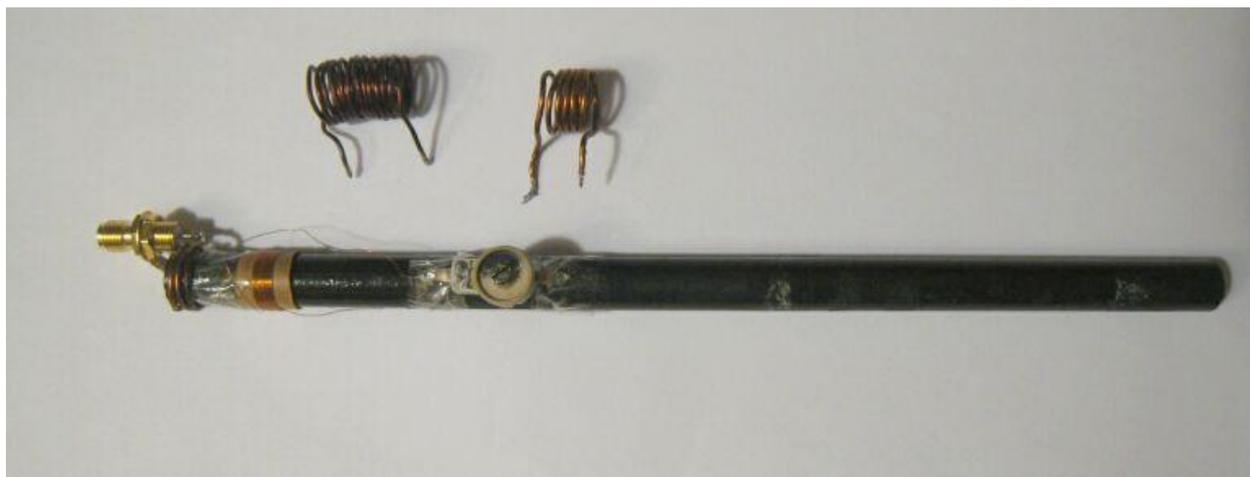


Рис. 3.6.1. Ферритовая антенна для диапазонов 40 и 80 метров

На фото показаны также дополнительные контурные катушки на 5 и 13 витков (для ВЧ КВ диапазонов). Подстроечный конденсатор перестраивается от 5 до 20 пФ. Катушка связи припаяна к SMA разъему.

Для расчета индуктивности катушки, можно использовать формулу:

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 A}{l}$$

Где

- L = индуктивность в генри
- μ_0 = проницаемость свободного пространства = $4\pi \times 10^{-7}$ Гн / м
- μ_r = относительная проницаемость материала сердечника
- N = число витков
- A = Площадь поперечного сечения катушки в квадратных метрах (m^2)
- l = длина катушки в метрах (м)

Однако сложность составляет величина относительной проницаемости сердечника, которая зависит от частоты, отношения длины стержня к его диаметру и расположения катушки на стержне. Так, для стержня 600НН с контурной катушкой по центру на частотах от 1.8 до 7 МГц μ_r составляет от 15 до 30, а для катушки сдвинутой к краю μ_r составляет от 8 до 15. Измеренные данные приведены в табл. 3.6.1, 3.6.2.

Обозначение 600НН означает, что начальная магнитная проницаемость стержня равна 600. Данная величина измеряется в определенных условиях на минимальной частоте (менее 0.1 кГц) Параметры обозначения: Н – низкочастотный, Н – никель-цинковый.

Таблица 3.6.1. Параметры ферритовой антенны 20 витков. Катушка с краю.

F, МГц	7	3.5	1.8
C, пФ	<3	18	95
L, мкГн	172	115	82
μд	17.5	11.5	8.3

Таблица 3.6.2. Параметры ферритовой антенны 20 витков. Катушка по центру

F, МГц	7	3.5	1.8
C, пФ	<<2	7	50
L, мкГн	258	295	156
μд	26	30	16

Понятно, что если мы удалим феррит и оставим контурную катушку и катушку связи на каркасе, полученное значение $\mu д$ будет близко к 1. (относительная магнитная проницаемость воздуха)

Таблица 3.6.3. Параметры ферритовой антенны 20 витков без ферритового стержня.

F, МГц	7	3.5	1.8
C, пФ	53	197	750
L, мкГн	9.8	10.5	10.4
μд	0.99	1.07	1.06

Рассмотрим возможность работы с таким стержнем с контурными катушками в 5 и 13 витков. В табл. 3.6.4 и 3.6.5 показаны экспериментально полученные значения C, L и $\mu д$ для контурных катушек из 5 и 13 витков.

Таблица 3.6.4. Параметры ферритовой антенны 5 витков (1 виток связи).

F, МГц	28	24.9	21	18	14	10	7	3.5	1.8
C, пФ	10	10	18	26	29	60	125	460	1536
L, мкГн	3.2	4.0	3.2	3.0	4.5	4.2	4.1	4.5	5.1
μд	10.2	12.9	10.1	9.5	14.1	13.3	13.1	14.2	16.1

Таблица 3.6.5. Параметры ферритовой антенны 13 витков (1 виток связи).

F, МГц	28	24.9	21	18	14	10	7	3.5	1.8
C, пФ	<<2	<2	5	6	9	24	48	196	848
L, мкГн	21.5	27.3	11.5	13.0	14.4	10.5	10.8	10.5	9.2
μд	25.8	32.7	13.8	15.6	17.3	12.7	12.9	12.7	11.0

Настроенная по максимуму шумов антенна может быть закреплена на траверсе и вынесена за пределы помещения, естественно с защитой от влаги.

Рекомендации при конструировании ферритовых антенн для КВ:

- 1) Использовать от 10 до 30 витков провода на сердечнике с диаметром 1 см. Необходимо получить резонанс на рабочей частоте с имеющейся переменной ёмкостью. Расчет количества витков катушки можно выполнять по методике из книги [1].
- 2) Добротность контура должна сохраняться большой. Поэтому бесполезно ставить маловитковые катушки для НЧ-диапазонов. Обратная ситуация – многovitковые на ВЧ-диапазонах поставить-то можно, но потребуются очень маленькие ёмкости – единицы пФ,

которые сопоставимы с ёмкостью проводов. Настройка такой антенны превратится в очень сложное занятие.

3) Подобрать феррит с минимальным числом начальной магнитной проницаемости, $600\text{НН} > 400\text{НН} > 150\text{НН}$, что должно снижать потери в феррите на ВЧ.

4) Соотношение витков катушки связи к контурной катушке на КВ примерно 1 к 10. На СВ 1 к 25, на ДВ 1 к 40.[1]

Сравним приём сигналов на ферритовую антенну и луч длиной в $\frac{1}{2} \lambda$.

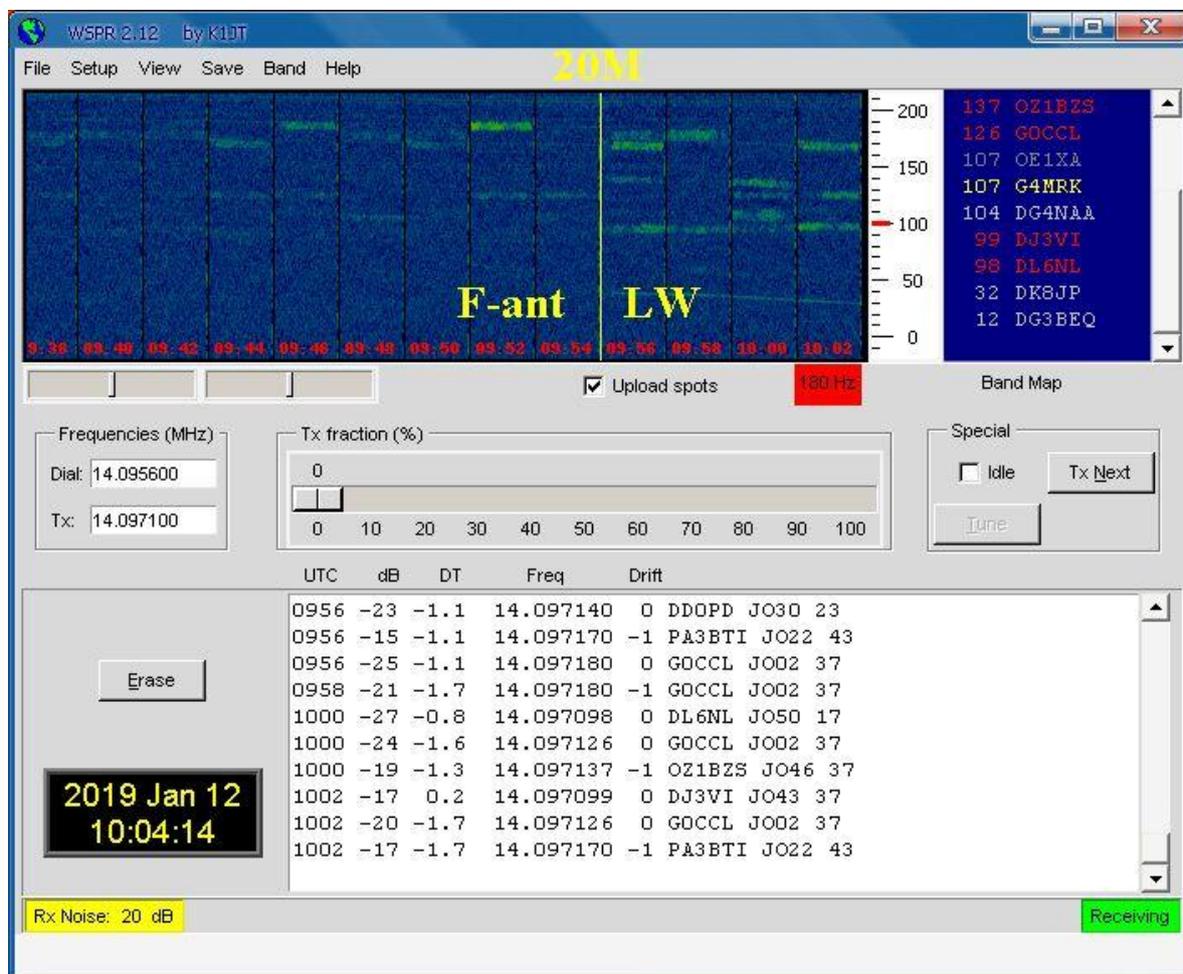


Рис. 3.6.2. Приём WSPR на ферритовую антенну и луч длиной в $\frac{1}{2} \lambda$

Ферритовая антенна уступает лучу около 10 дБ.

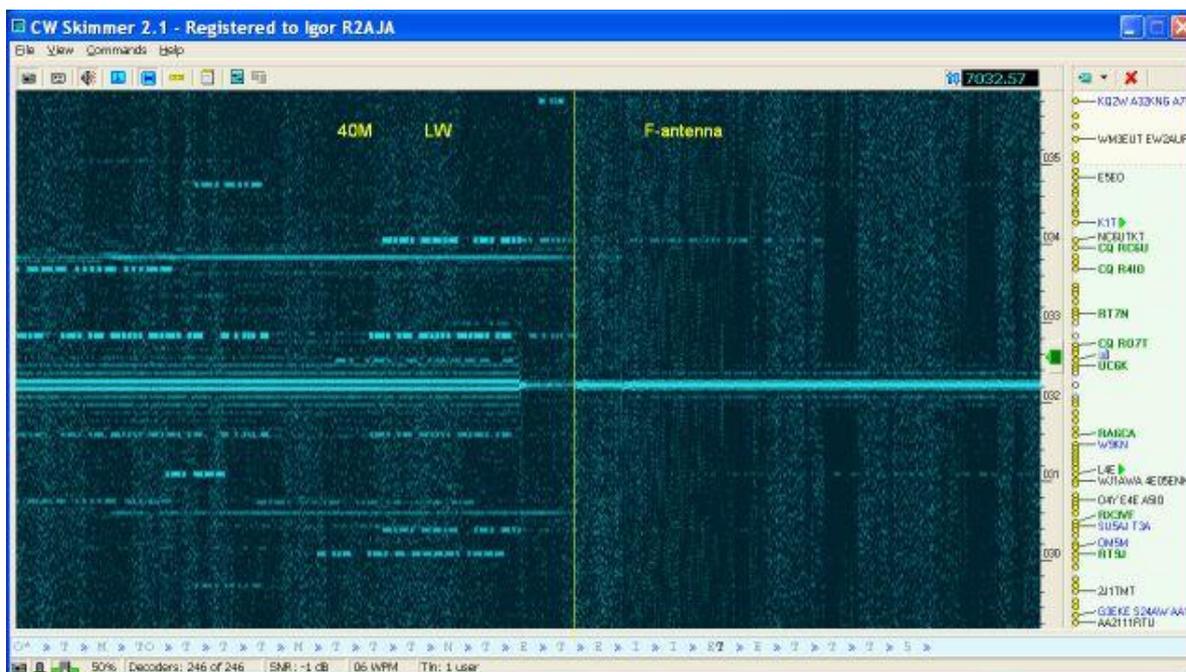


Рис. 3.6.3. Приём CW на ферритовую антенну и луч длиной в $1/4 \lambda$

Ферритовая антенна уступает лучу около 7 дБ.

Принимать сигналы на ферритовую антенну в диапазоне коротких волн возможно. Усиление такой антенны на порядок меньше полноразмерной антенны, зато и размер меньше раз в пятьдесят! (справедливо для диапазонов 20/40 метров).

Дополнительная информация:

- [1] В.А. Васильев, «Антенны портативных приёмников», массовая радиобиблиотека, выпуск 820, изд. «Энергия», Москва, 1973
- [2] «ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ. Свойства катушек индуктивности» <http://bourabai.ru/toe/coils.htm>
- [3] Он-лайн калькулятор для расчета катушки на ферритовом стержне <http://coil32.ru/calc/ferrite-rod.html>
- [4] «Сравнение ферритовой антенны с четвертьволновым лучом на 40М» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2019/01/40.html>
- [5] «Ферритовая антенна + кабель с ферритовыми защелками 40М» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2019/02/40.html>
- [6] Лекция «Антенны средних, длинных и сверхдлинных волн» <http://uz.denemetr.com/docs/294/index-20298-1.html>

3.7 Антенна «Mini Whip»

Ещё одна приёмная антенна – «Mini Whip» (MW). Принцип работы такой антенны – максимально удалить очень укороченную антенну от помещений, источников шумов, усилить сигнал и передать его на приёмник. Схема антенны предложена радиолюбителем PA0RDT.

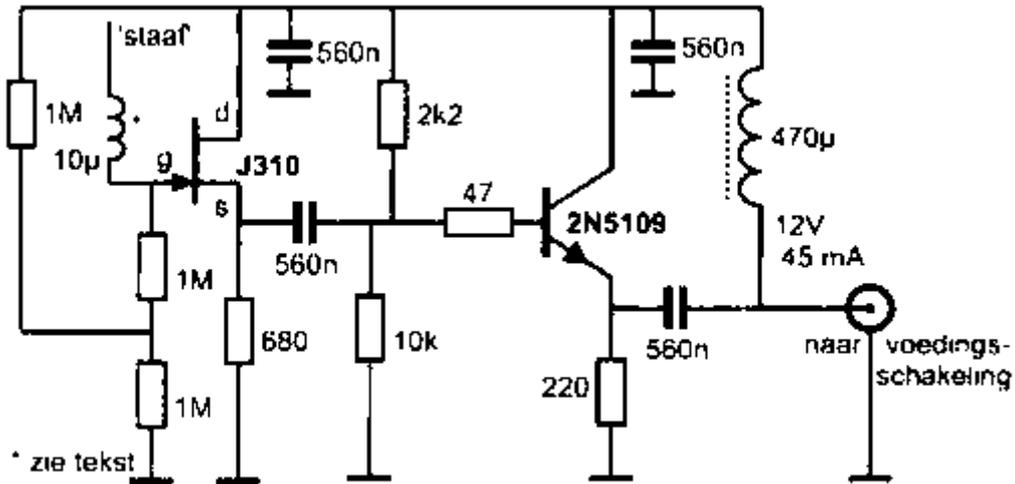


Figure 8 - pa0rdt-Mini-Whip ©

Рис. 3.7.1. Принципиальная схема антенны «Mini Whip»

Питание на усилитель подается по коаксиальному кабелю через развязывающую схему см. рис. 3.7.2.

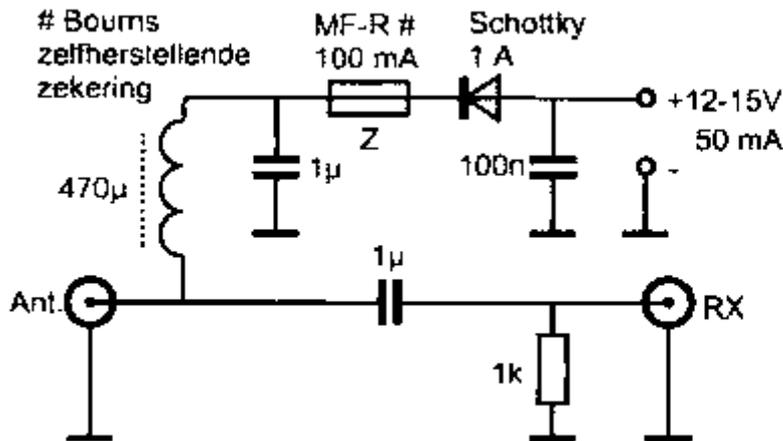


Figure 9 - Power-supply via the coaxial cable for the pa0rdt-Mini-Whip ©.

Рис. 3.7.2. Принципиальная схема подачи питания на «Mini Whip»

Для работы антенны необходимо качественное, не шумящее ВЧ-заземление. Главное достоинство антенны – ее широкополосность, т.е. она может работать во всех КВ диапазонах без настройки. Недостатком антенны можно назвать требование наличия питания. Желательно использовать аккумуляторы или батареи. Питание от блоков питания, особенно импульсных, добавит помех к приёму такой антенны.

Внешний вид антенны показан на рис. 3.7.3.

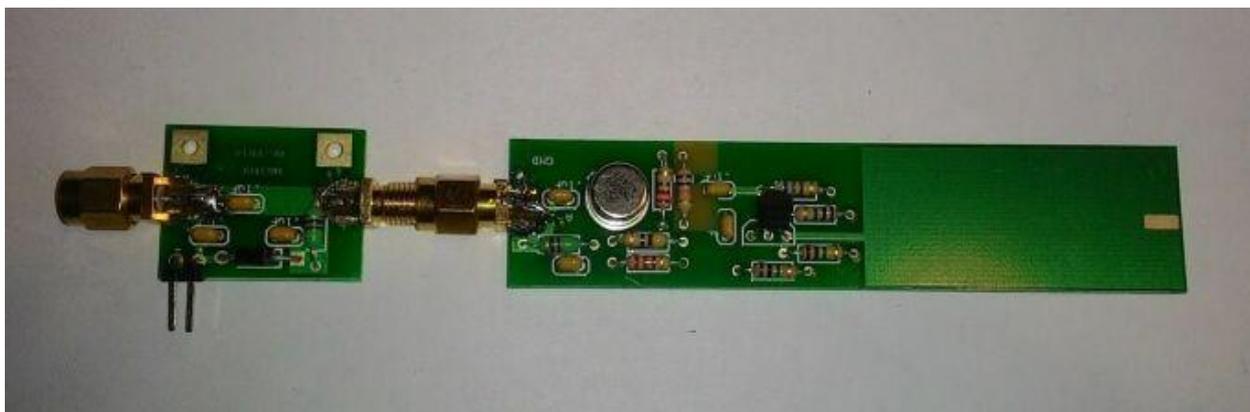


Рис. 3.7.3. Внешний вид антенны «Mini Whip»

Для сравнения такой антенны с антенной лучом, закрепляю «Mini Whip» на удочке и выдвигаю на 2 метра от здания.



Рис. 3.7.4. Антенна «Mini Whip» вынесена за пределы здания

Посмотрим на сигналы WSPR и CW, собираемые антенной.

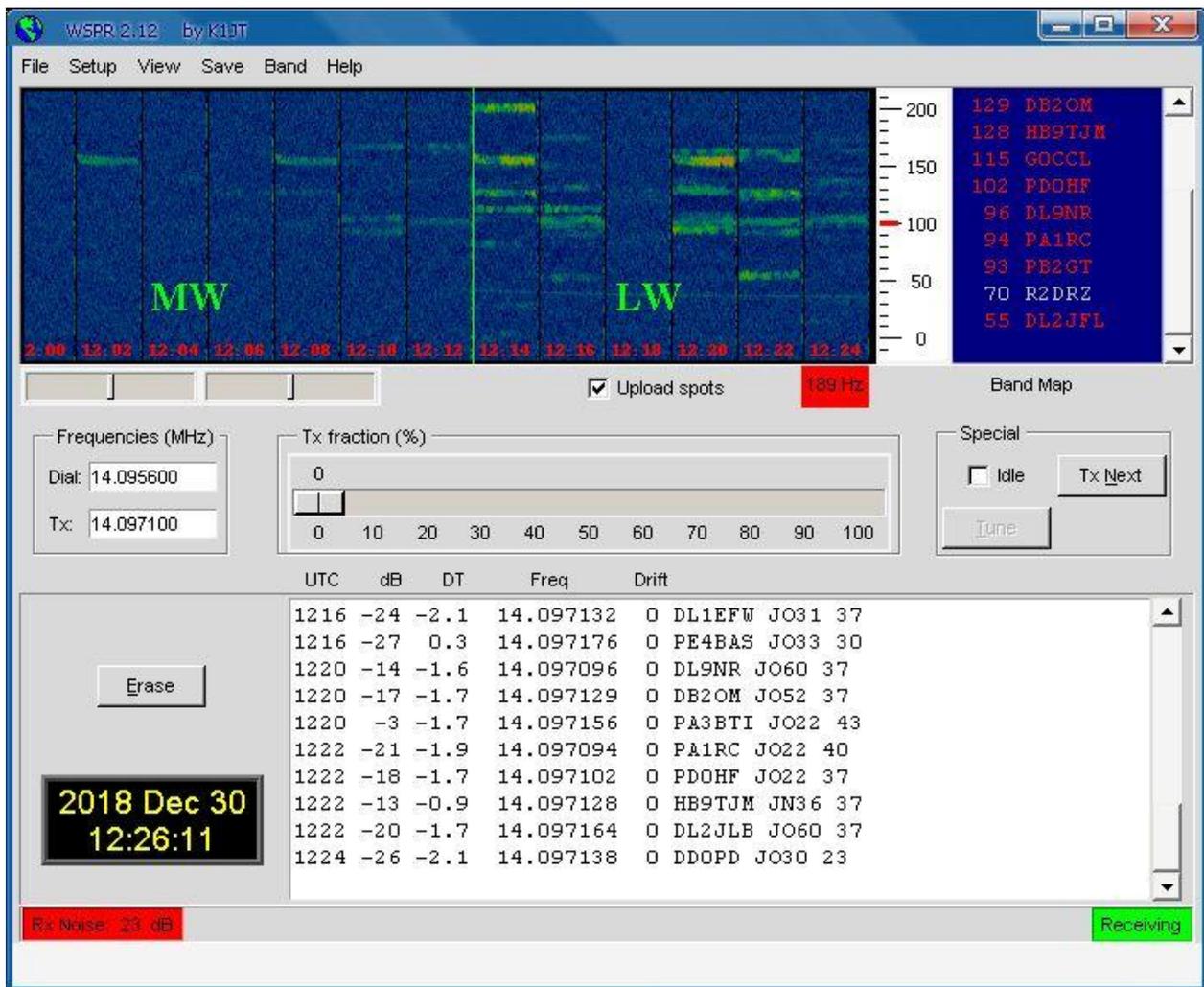


Рис. 3.7.5. Приём WSPR на «Mini Whip» 20M

Сигналы с MW выглядят слабее.

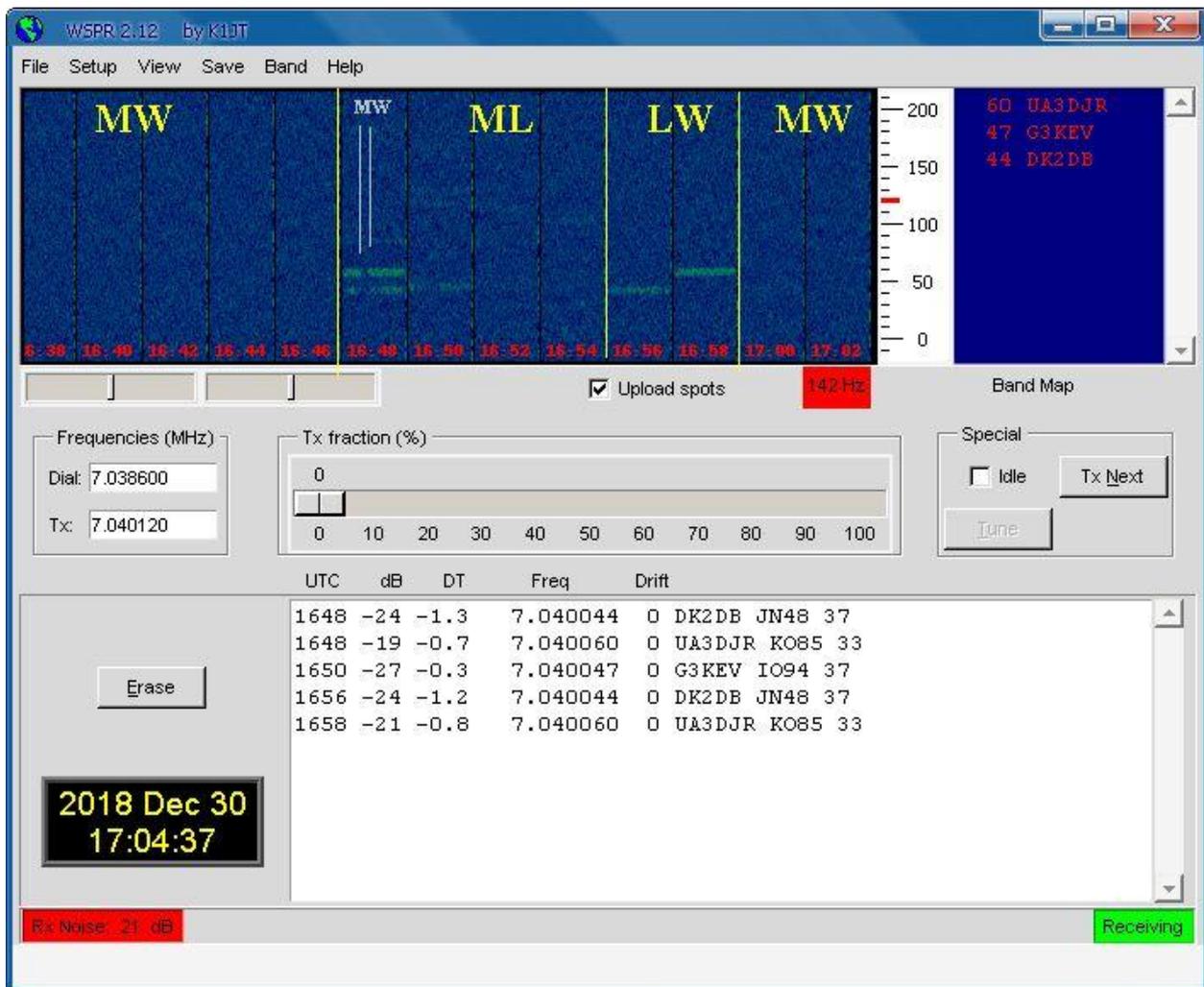


Рис. 3.7.6. Приём WSPR на «Mini Whip» 40M

А здесь при сопоставимом уровне приёма антенны луча (LW) и магнитной рамки (ML) было выполнено переключение ML-MW-ML – помечен серым приём на MW. Уровень заметно снижен. На рис. 3.7.7 показано переключение с LW на MW, и также наблюдаем снижение уровня сигнала.

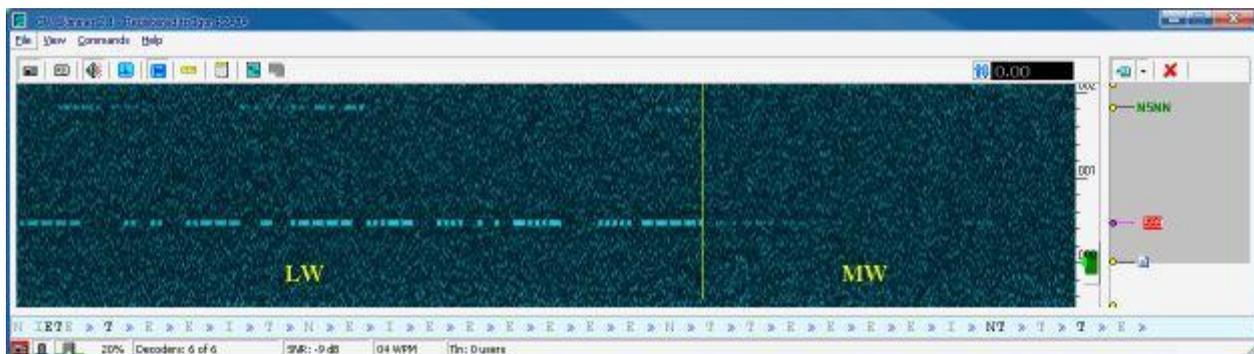


Рис. 3.7.7. Приём CW на «Mini Whip» 40M

А вот так меняется приём при подключении заземления к «Mini Whip» про необходимость которого было уже сказано, см. рис. 3.7.8, до 7 дБ!

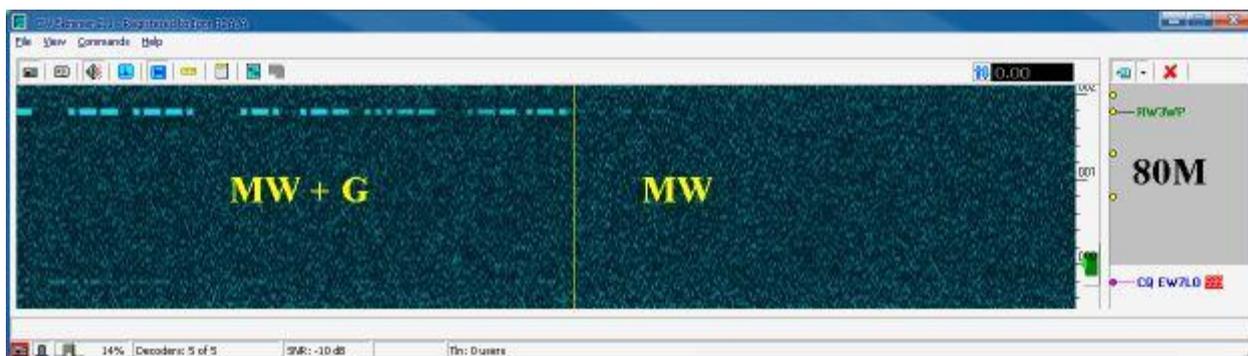


Рис. 3.7.8. Приём CW на «Mini Whip» с заземлением и без него (80M)

Подведём итог по приёму на «Mini Whip», «Magnetic Loop», ферритовую антенну и антенну «Луч» длиной примерно $\frac{1}{2} \lambda$ для диапазона 20M и $\frac{1}{4} \lambda$ для диапазона 40M.

Приём усиление луча за 0 дБ и покажем усиление остальных антенн относительно него

Таблица 3.7.1. Сравнение «Mini Whip», «Magnetic Loop» и луча

Диапазон	Луч (LW)	Рамка (ML)	Mini Whip (MW)	Ферритовая антенна (F)
15M	0 дБ	-4 дБ	-7 дБ	-
20M	0 дБ	-5 дБ	-10 дБ	-10 дБ
30M	0 дБ	-5 дБ	-5 дБ	-
40M	0 дБ	± 2 дБ	-5 дБ	-7 дБ

Луч держит первенство до тех пор, пока его активное сопротивление высоко, а ВЧ-потери малы. Начиная с 40M активное волновое сопротивление снижается к единицам Ом, потери растут и эффективность луча снижается.

Антенну «Mini Whip» следует использовать там, где требуется широкополосный приём, и есть возможность обеспечения малошумящей окружающей обстановки.

Дополнительная информация:

[1] «Сравнение антенн MiniWhip, Long Wire и Magnetic Loop.»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2019/01/miniwhip-long-wire-magnetic-loop.html>

[2] «Влияние питания Mini Whip на количество принимаемого шума»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2019/01/mini-whip.html>

[3] «Работа антенны MiniWhip вместо СУ»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2019/01/miniwhip.html>

3.8 Антенна «Inverted-V»

Антенна «Inverted-V» или "Перевернутая V" называется так из-за похожести на данную букву. Хотя кто мешает называть её Л-антенна? Данная антенна достаточно популярна и может стать первой полевой антенной радиолюбителя. Приведём схему антенны:

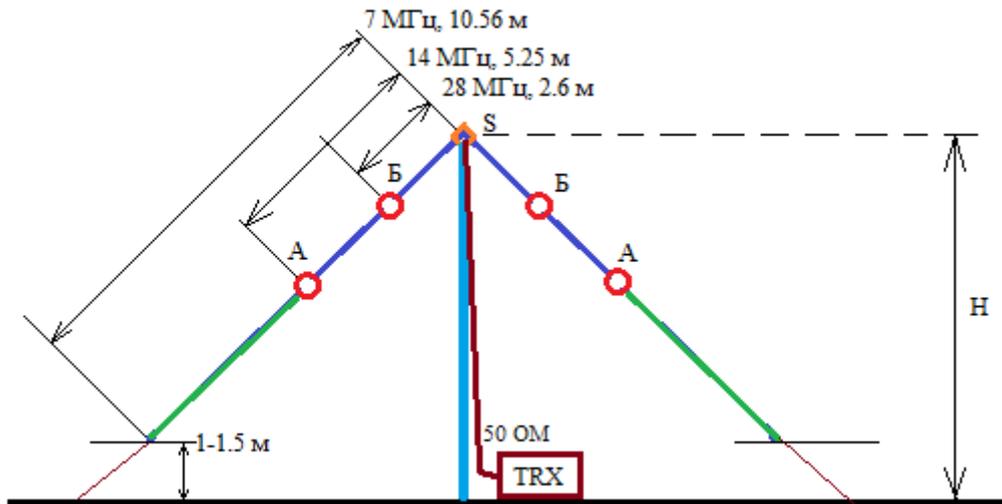


Рис. 3.8.1. Схема антенны «Inverted-V»

Она состоит из отрезков провода в изоляции, с толщиной жилы 1-2 мм, с длинами подобранными под частоты радиолюбительских диапазонов. Лучи присоединяются к симметрирующему устройству 1:1 или запорному дросселю см. рис. 3.8.2, который отмечен на схеме буквой S. Его задача - блокировать затекание ВЧ-токов на оплетку кабеля, чтобы диаграмма направленности была близка к теоретической.

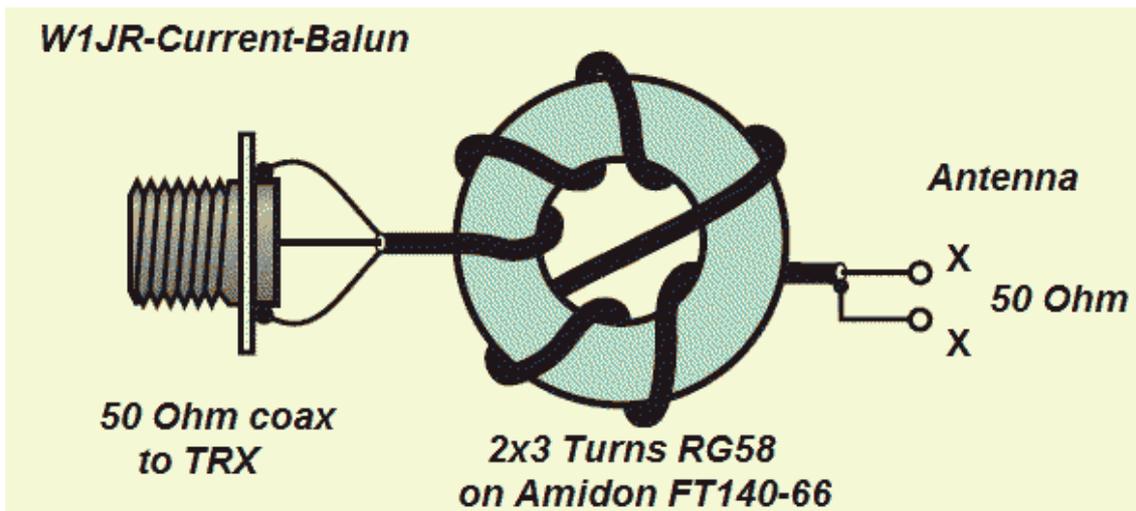


Рис. 3.8.2. Схема намотки запорного дросселя от W1JR

Тип ферритовых колец для дросселя не принципиален. На крайний случай можно намотать бухточку коаксиального кабеля, которая тоже является отсекающим дросселем.

Хотя бы десять витков диаметром 10 см для диапазона 20М. Чем ниже частота, тем больше витков нужно использовать.



Рис. 3.8.3. Пример изготовленного дросселя

Длины элементов антенны зависят от высоты верхней точки, грунта, окружающих предметов (деревья). Показанные длины плеч указаны приблизительно. Желательно иметь небольшой запас по длине, т.к. укоротить всегда можно успеть. В точках отмеченных красными кружками "А" и "Б" устанавливаются коннекторы или «крокодилы», для того чтобы плотно можно было соединять или разъединять для смены диапазона.

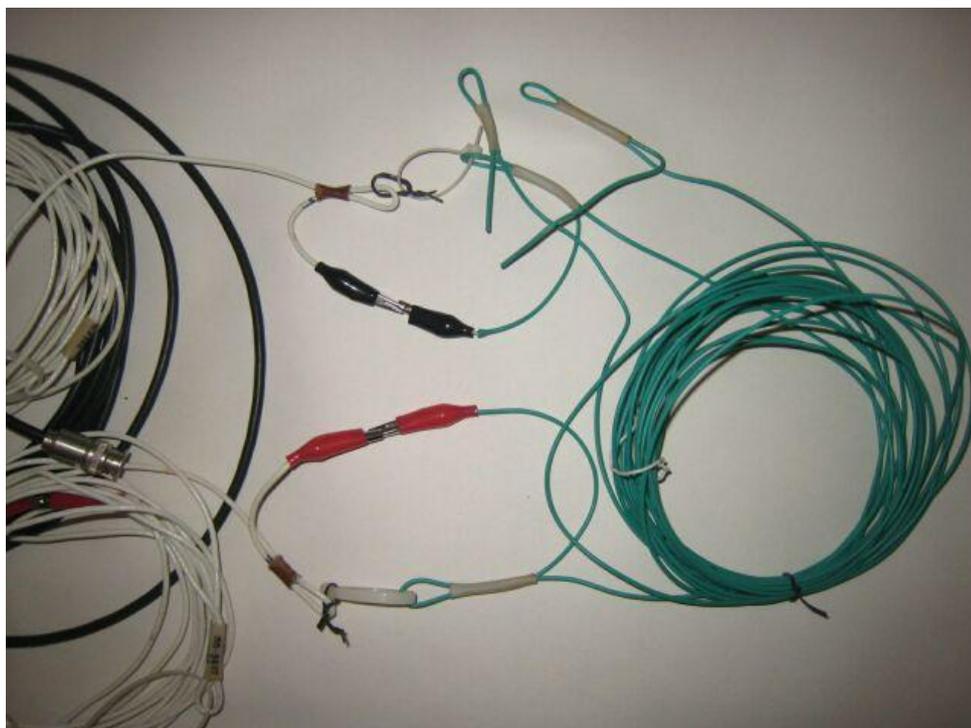


Рис. 3.8.4. Узлы подключения частей полотна, и загнутые концы плеч 40М

Верхняя точка антенны должна быть закреплена на высоте $H = 5-10$ м, чем выше, тем лучше.

Настройка антенны ведется по частотам сверху вниз используя показания SWR-метра трансивера (стремимся к минимальному КСВ) или по максимальным показаниям датчика поля в окрестности антенны. Сначала подбираем длину плеч на частоту 28 МГц, потом подключают крокодилами сегмент для работы на 14 МГц, далее подключают 7 МГц. У плеч для 7 МГц можно вместо подрезания концов скрутить и подвязать, обычно именно на нижнем диапазоне чаще настройка сдвигается, из-за близости поверхности земли, поэтому иногда скрученные концы приходится разматывать

Для работы на промежуточных диапазонах, в разрывы полотна, точки "А" и "Б" по схеме рис. 3.8.1 следует установить добавочные конденсаторы. Так, для работы на частоте 24.9 МГц, подключаем в разрывы "Б" ёмкости примерно 2-3 пФ, для работы на частоте 21 МГц, подключаем в разрывы "Б" ёмкости примерно 7-14 пФ, для работы на частоте 18.08 МГц, подключаем в разрывы "Б" ёмкости примерно 10-25 пФ.

Для работы на частоте 10.1 МГц, подключаем в разрывы "А" ёмкости примерно 25-40 пФ.

Данная антенна также называется антенной зенитного излучения, т.к. максимум излучения направлен вертикально вверх (с усилением до 8 дБи), что не очень полезно при работе на коротких волнах.

Горизонтальная поляризационная составляющая диаграммы антенны направлена перпендикулярно полотну антенны см. рис. 3.8.5.

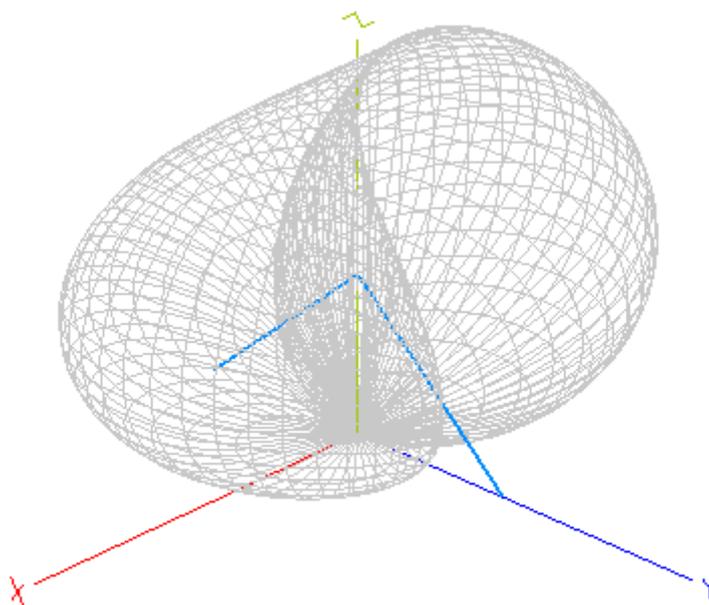


Рис. 3.8.5. Трёхмерная ДНА «Inverted-V», H-поляризация

Вертикальная поляризационная составляющая диаграммы антенны направлена вдоль полотна антенны см. рис. 3.8.6.

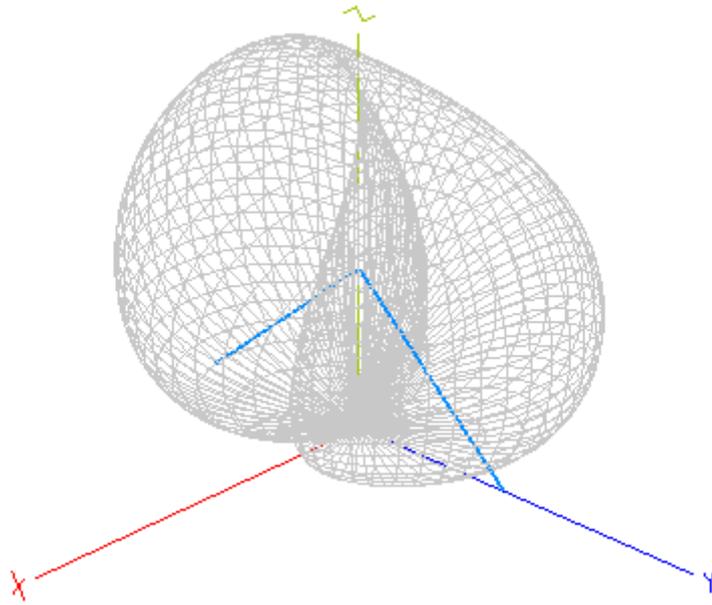


Рис. 3.8.6. Трёхмерная ДНА «Inverted-V», V-поляризация

Далее сравним антенну «Inverted-V» с классическим диполем на диапазоне 20М. В данном анализе Inverted – V имеет раскрыв около 90 градусов, а диполь подвешивается на уровне верхней точки Inverted – V. Усиление данных антенн будем рассматривать для двух поляризаций – горизонтальной (вдоль оси X) и вертикальной (вдоль оси Y) . Дополнительное согласование антенн с кабелем не используется, плечи антенн подключаются к коаксиальному кабелю через устройство симметрирования или через запорный дроссель. Приведенные диаграммы учитывают потери сигнала на рассогласовании полотна с кабелем 50 Ом.

Внешний вид моделей антенн представлен на рис. 3.8.7.

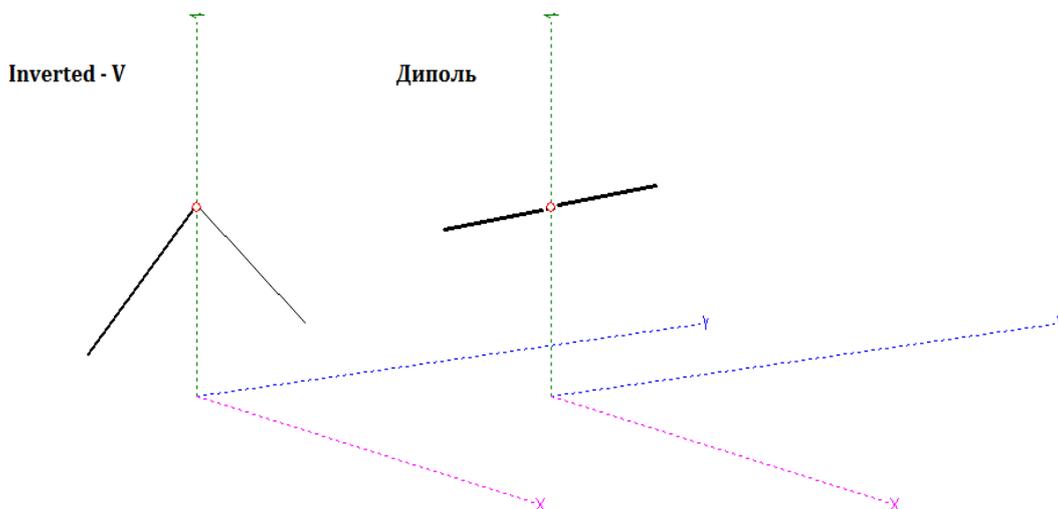


Рис. 3.8.7. Антенны «Диполь» и «Inverted-V»

Диаграммы направленности для горизонтальной поляризации представлены ниже.

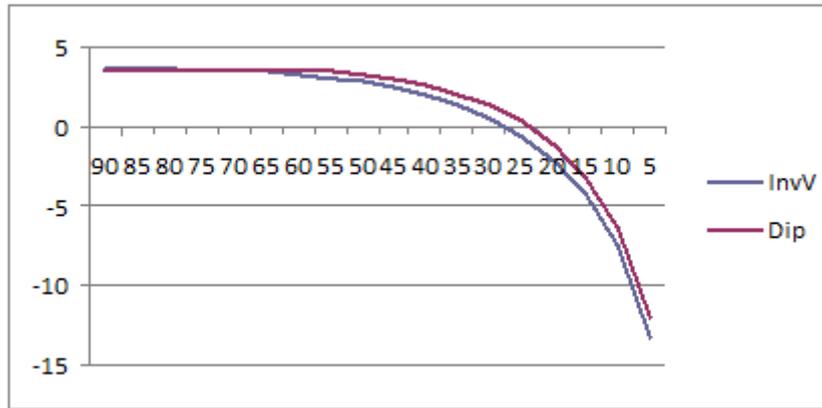


Рис. 3.8.8. Диаграммы направленности Н-поляризация, высота 5 м

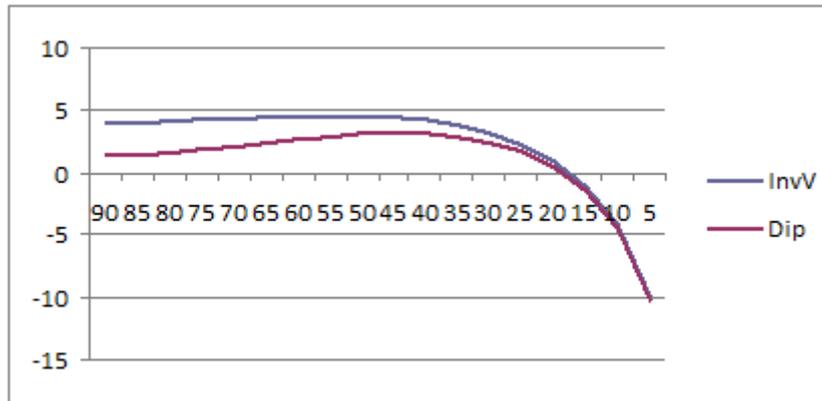


Рис. 3.8.9. Диаграммы направленности Н-поляризация, высота 7 м

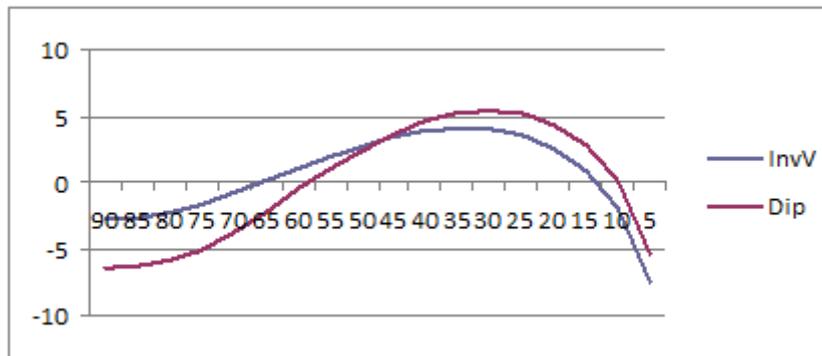


Рис. 3.8.10. Диаграммы направленности Н-поляризация, высота 10 м

Хорошо видно, что на оптимальной по согласованию высоте (около 7 м.) «Inverted-V» имеет небольшое преимущество над диполем. Учитывая, что 7 м хорошо достижимая высота подвеса (различные удочки, деревья) этот вариант может быть основным для работы с такой антенной.

Рассмотрим теперь излучение вертикальной поляризации.

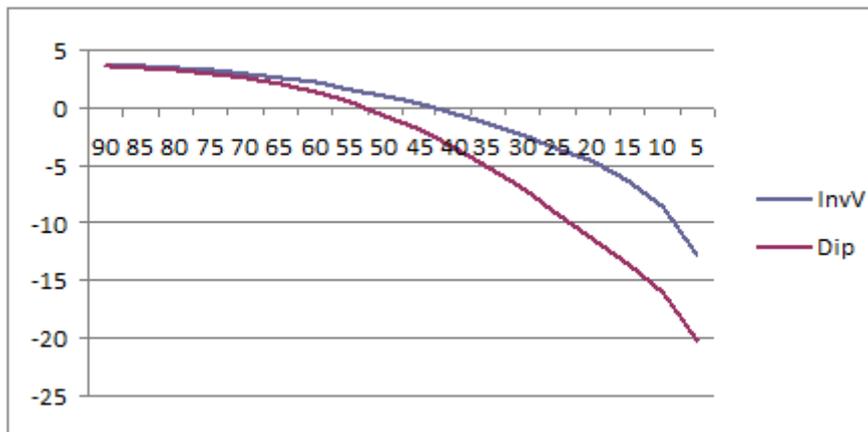


Рис. 3.8.11. Диаграммы направленности V-поляризация, высота 5 м

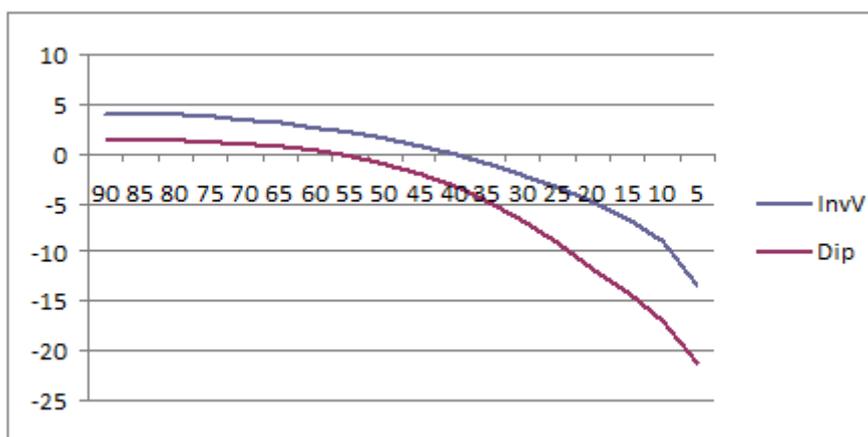


Рис. 3.8.12. Диаграммы направленности V-поляризация, высота 7 м

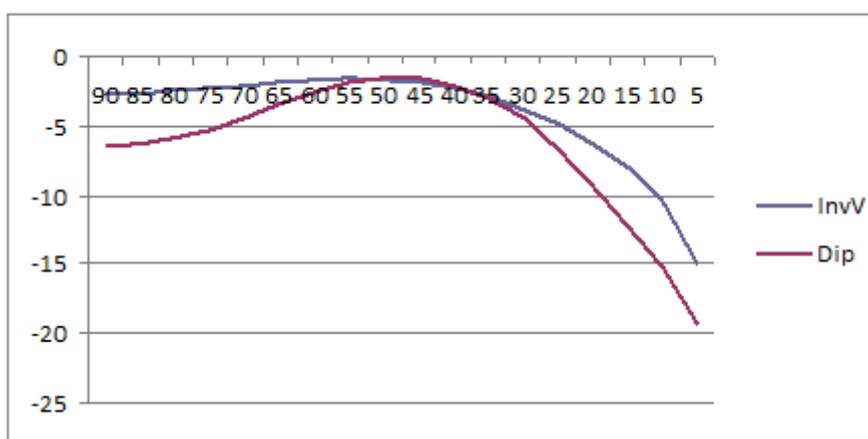


Рис. 3.8.13. Диаграммы направленности V-поляризация, высота 10 м

Можно, подумать, что горизонтальный диполь не излучает в вертикальной поляризации, однако это справедливо лишь для свободного пространства. Из-за влияния Земли составляющая ЭМ поля с вертикальной поляризацией все-таки появляется. Хорошо видно, что при рабочих углах менее 40 градусов при всех высотах подвеса «Inverted-V» имеет

преимущество над Диполем. С ростом высоты подвеса составляющая вертикальной поляризации сильно ослабевает.

В итоге можно отметить, что на высоте 7 метров, «Inverted-V» позволяет проводить связи как вертикальной, так и горизонтальной поляризацией, при этом обеспечивает наилучшее согласование с коаксиальным кабелем 50 Ом, что позволяет не использовать дополнительное согласующее устройство и качественно отводить мощность от трансивера в эфир. Диполь же можно эффективно применять в случаях большой высоты подвеса (не менее $\lambda/2$) или при подключении ВЧ-передатчика (например маячка) с выходным сопротивлением 75...100 Ом.

Приведём фотографию комплекта антенны «Inverted-V» см. рис. 3.8.15.

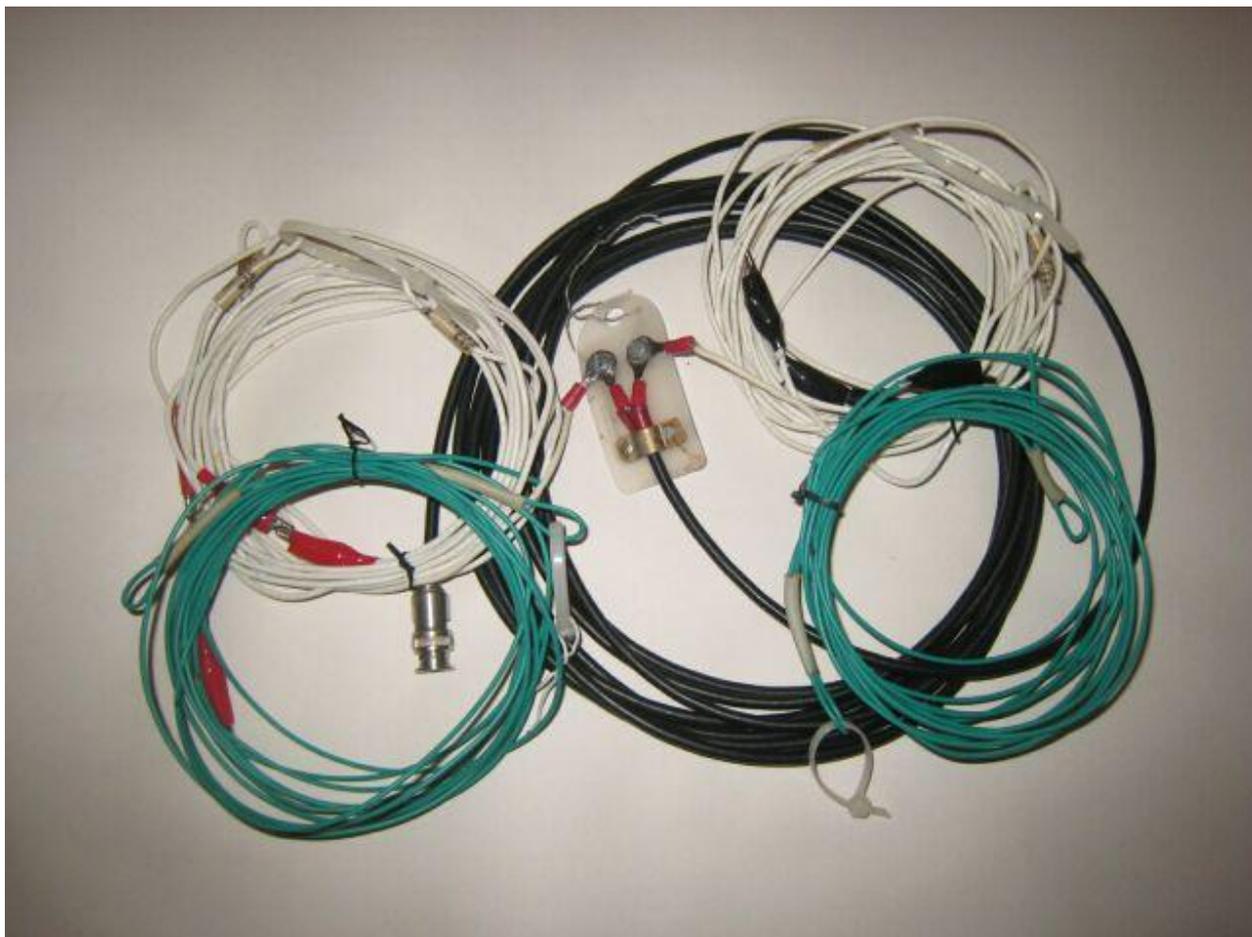


Рис. 3.8.15. Комплект антенны «Inverted-V»

На фотографии плечи «Inverted-V» подключены к коаксиальному кабелю напрямую. Такая антенна вполне работоспособна, но диаграммы направленности такой антенны будут отличаться от расчетных. Представленный комплект имеет массу около 500 грамм.



Рис. 3.8.16. Установленная антенна «Inverted-V»

Дополнительная информация:

[1] «Inverted-V или Диполь?» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/01/inverted-v.html>

[2] Игорь Лаврушов (UA6HJQ), «Антенна трансформер для экспедиций»,

http://www.mountain.ru/radio/library/2005/ua6hjq_2/index.shtml

<http://ua6hjq.qrz.ru/ant/ant-tr/ant-tr.htm>

[3] Игорь Лавриненков, «Влияние угла излучения антенн коротких волн на дальность радиосвязи», CQ-QRP #53 (Зима 2016)

[4] Гончаренко И.В., «Антенны КВ и УКВ часть 2, Основы и практика.», М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио», 2005 г.

3.9 Удлиненный четвертьволновый «Ground Plane» с двумя противовесами

Радиолюбители часто изготавливают антенны «Ground Plane» длиной $\lambda/4$ с четырьмя противовесами. Однако эта антенна обладает более низким, чем у коаксиального кабеля волновым сопротивлением ~ 30 Ом. Чтобы его поднять, следует увеличить длину полотна с $\lambda/4$ примерно до 0.28λ . Активное сопротивление при этом возрастает до 50 Ом, а появляющуюся реактивную составляющую скомпенсируем последовательным подключением переменного конденсатора к полотну.

Два противовеса длиной около $\lambda/4$ вполне достаточно для работы такой антенны, при этом её можно установить у дороги, на пляже или деревянном заборе, где она не сможет никому помешать, по сравнению с антенной с четырьмя противовесами, которая требует под свое размещение свободной площадки. Высота установки противовесов: 0.5-1.5 м.

Например, для диапазона 20М длина полотна равна примерно 5.96 м, согласующая ёмкость около 130 пФ, противовесы по 5.33 м. Для диапазона 40М длины элементов и ёмкости следует увеличить в 2 раза. Пример антенны на 20М с трёхмерной диаграммой направленности показан на рис. 3.9.1.

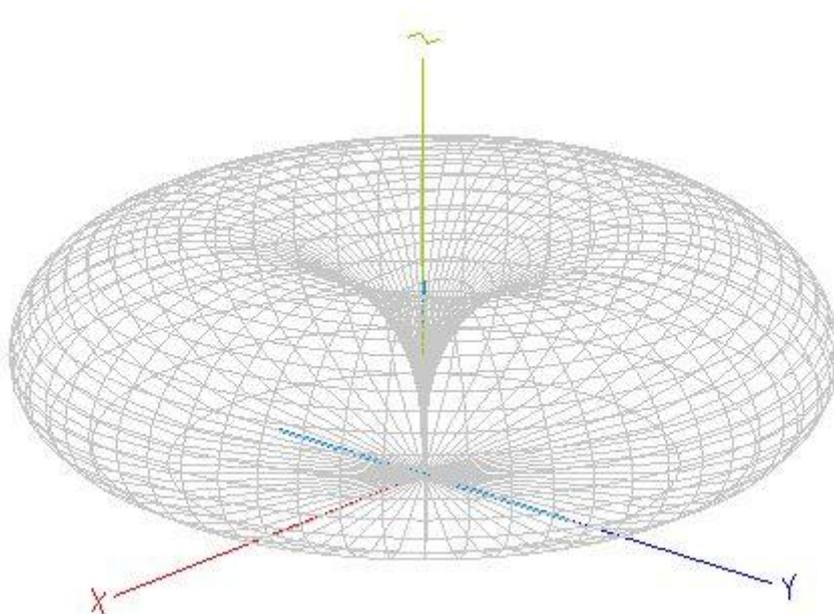


Рис. 3.9.1. ДНА антенны «GP»

Антенна обладает максимальным усилением -0.19 дБи, круговой диаграммой направленности, вертикальной поляризацией. Максимальное излучение под углом 23.8° к горизонту.

Коаксиальный кабель желательно подключать через запирающий дроссель для обеспечения симметричности диаграммы направленности, однако возможна работа и без него. Оплётку кабеля присоединяем к противовесам, а центральную жилу через конденсатор настройки к полотну антенны.



Рис. 3.9.2. Узел питания антенны

Расположение противовесов показано на рис. 3.9.3.



Рис. 3.9.3. Расположение противовесов антенны

Для мачты можно использовать стеклопластиковую удочку или сухую древесину см. рис. 3.9.4.



Рис. 3.9.4. Деревянная мачта с оттяжками

Низкие углы излучения этой антенны полезны на КВ для проведения дальних связей. Второе важное свойство – всенаправленность. Это удобно и для подключения маяка, и для использования скиммера, чтобы наблюдать распространение радиоволн при одинаковом усилении по всем азимутальным направлениям.

Дополнительная информация:

[1] Гончаренко И.В., «Антенны КВ и УКВ»

3.10 Антенна «VP2E» с концевым питанием

Антенна «Vertical Polarized Two Elements» (VP2E) в классическом виде использует питание от коаксиального кабеля в разрыве одного плеча. Сложность такой антенны - в поиске точки питания. Концевое питание позволяет подключать «VP2E» через согласующее устройство к трансиверу, а настройку выполнять ручками настройки, что гораздо удобнее.

Рассмотрим вариант антенны «VP2E» на 20М. Для изготовления потребуется провод в изоляции, с диаметром жилы 1-2 мм. Длина провода около 21 метра. Для получения максимального усиления с минимальными зенитными углами оптимальный угол в вершине VP2E составляет 90 градусов. С ростом угла вертикальная компонента ВЧ тока в полотне уменьшается, снижается и суммарное излучение под низкими углами. При углах в вершине VP2E менее 90 градусов уменьшается площадь раскрытия антенны, что также снижает усиление антенны под низкими углами. Практически же, полотно антенны подвешивают с углом в вершине не менее 90 градусов по образцу антенны «Inverted-V» с высотой верхней точки 5-7 метров, нижних точек 1-1.5 метра.

В качестве противовеса к тюнеру подключается отрезок провода длиной от 2 до 10 м. Суммарная диаграмма направленности и расположение антенны показаны на рис. 3.10.1.

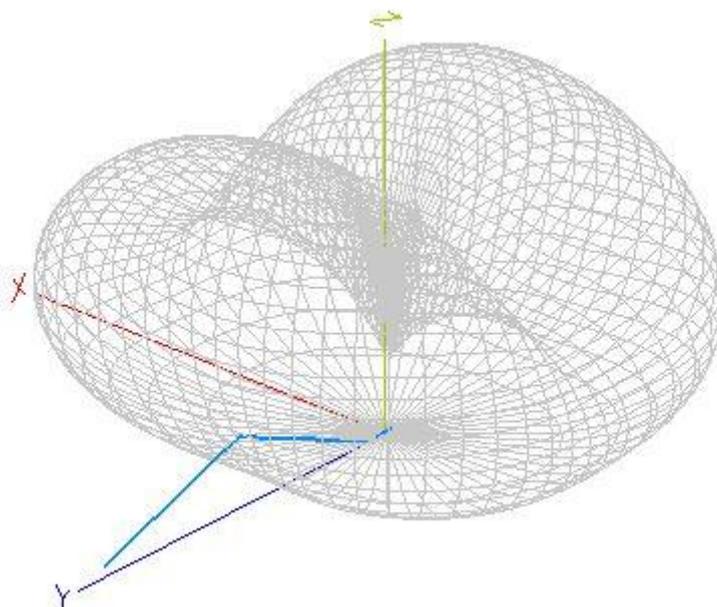


Рис. 3.10.1. Трёхмерная суммарная диаграмма направленности «VP2E»

На диапазоне 20М данная антенна имеет лепестковую диаграмму в азимутальной плоскости, практически близкую к круговой. Поляризация, преимущественно, вертикальная. Максимумы перпендикулярны полотну антенны с усилением около 0 дБи, побочные максимумы вдоль полотна около -2 дБи. Для горизонтальной составляющей

лепестки сдвинуты на 45 градусов относительно осей антенны, уровни от 1 до 2 дБи при зенитном угле 22°.

Приведем пример из практики работы с антеннами «VP2E» и «GP». Покажем диаграммы для V, H поляризации, а также диаграмму «GP» для сравнения направленности антенн см. рис. 3.10.2.

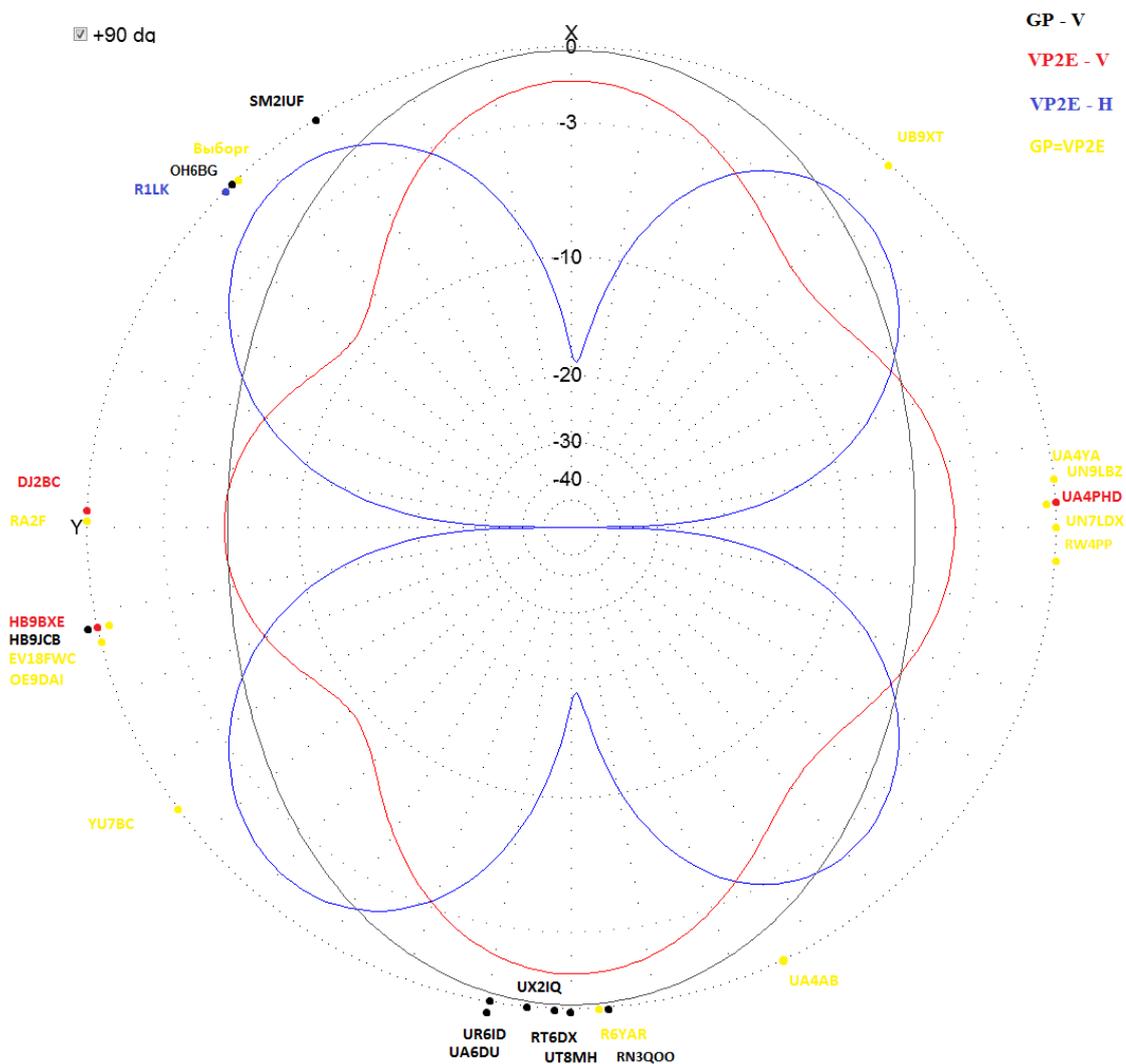


Рис. 3.10.2. Диаграммы направленности «VP2E» V, H и «GP»

Диаграмма «GP» показана овальной, здесь учитывается влияние одной антенны на другую, т.к. сравнение антенн проводилось при их близком расположении. Запад слева, по оси Y, север сверху по оси X. Полотно «VP2E» идет по оси Y. Диаграммы показаны цветами:

Красный - «VP2E» - вертикальная поляризация;

Синий - «VP2E» - горизонтальная поляризация;

Черный - «GP» - (вертикальная).

Точками на окружности обозначены азимуты скиммеров и слышимых корреспондентов. Цвета показывают, на какую антенну сигнал был сильнее. Жёлтый цвет показывает равенство сигналов.

На диапазоне 40М данная антенна с полотном 21 м аналогична по диаграмме направленности и усилению «Inverted-V» см. раздел 3.8. Для 20М и 40М можно считать представленную антенну высокоомной.

Подключение антенны «VP2E» с концевым питанием к тюнеру показано на рис. 3.10.3.



Рис. 3.10.3. Подключение антенны «VP2E» к тюнеру

Настройка антенны ведется подбором оптимальных настроек согласующего устройства по показаниям КСВ-метра трансивера или по максимальным показаниям датчика поля во время передачи сигнала.

Приведём сравнение антенн «GP с двумя противовесам» и «VP2E» см. табл. 3.10.1.

Таблица 3.10.1. Сравнение антенн «GP» и «VP2E».

Параметр	«VP2E»	«GP»
Масса	С тюнером и кабелем 1.5 м 860 грамм	С конденсатором, крокодилами и бухтой- кабелем 550 грамм
Многодиапазонность	Да	Нет
Высота мачты	5 метров	7 метров
Проекция на землю	18 метров	10 метров
Точка питания	В край антенны.	У мачты.
Противовесы	Возможны длиной не более метра или не требуются.	В одну линию, каждый по 5 метров на высоте около 1 м.
Длина проводов	21 м	16 м
Поляризация	Преимущественно вертикальная	Вертикальная
Усиление	От -2.3 до 2.5 дБи (зенитный угол 20 градусов)	-0.3 дБи (зенитный угол 20 градусов)

На мой взгляд, «VP2E» проще в установке, а её многодиапазонность может стать решающим преимуществом.

Дополнительная информация:

[1] «Сравнение антенн «VP2E» и «GP» для диапазона 20 метров.»

<http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/06/vp2e-gp-20.html>

3.11 Двухэлементный волновой канал на 20М

Проверив в работе одноэлементные антенны, описанные выше, радиолюбитель может захотеть собрать более серьезную конструкцию. Рассмотрим здесь двухэлементную антенну «Волновой канал», в зарубежной литературе «Uda-Yagi» для диапазона 20М. Существуют проволочные варианты двухэлементных антенн, однако невозможность оперативного поворота [2],[3] или покупка удочек [1] может оказаться нецелесообразной.

Для антенны "Волновой канал" на 20М необходимы плечи (удочки) длиной 5-6 метров. Цена каждого плеча в таком случае около 1000 р (2016 г.). А не выгоднее ли просто купить алюминиевые трубки в строительном магазине и составить из них плечи антенны?

Посмотрим на карту деталей предлагаемой антенны – рис. 3.11.1.

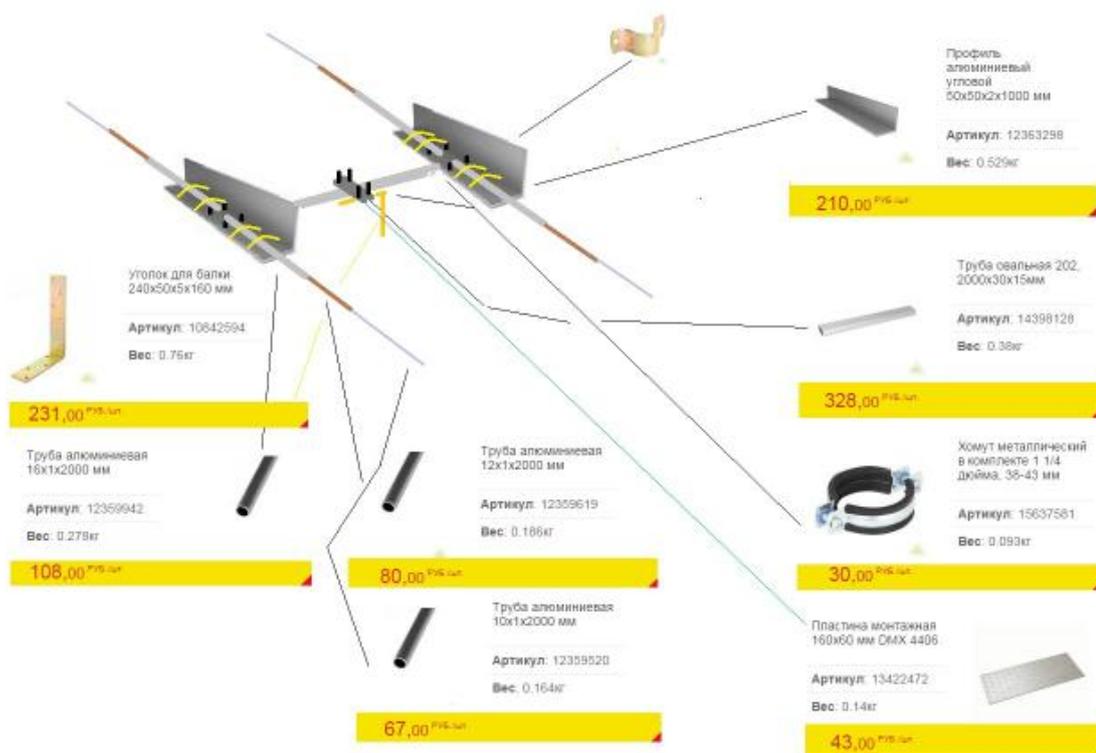


Рис. 3.11.1. Карта деталей антенны «Волновой канал»

На карте показаны предполагаемые элементы антенны и крепежи. В трубках выполняются крест накрест пропилы, а фиксация - хомутами стяжками. Сами трубки лежат на уголках-носителях. В качестве траверсы - штанга из алюминия для шкафа, длиной 2 м. Носители крепятся к траверсе водопроводными прорезиненными хомутами. Единственная сложность - найти U-образные болты для фиксации труб к уголковым носителям. Они называются Болт оцинкованный U-образный UBZ 1/2 М6 [4].

В дальнейшем схема антенны упростилась, для директора используется одна труба на носителе, а с краев вставляются плечи.

Двухэлементная антенна строится по формуле: "Вибратор" + "Директор", как наиболее оптимальный вариант. (см. книги: Ротхаммеля, И.Гончаренко) при этом она легче и короче. Ультракороткая траверса - всего 2 метра (в расчете 1.94 м) из одной алюминиевой трубы овального профиля.

Диапазон антенны 20М выбран, т.к.

- 1) почти всегда работает;
- 2) почти у всех есть антенны на этот диапазон;
- 3) доступные габариты (размах около 10 метров).

К слову сказать, описываемая антенна допускает работу на 17М, 15М, 12М, 10М при изменении длины плеч.

Приведём сводку деталей для антенны и их параметры (на 2016 г.)

Таблица 3.11.1. Сводка по деталям антенны

Деталь	Кол-во	Цена	Вес 1шт	Общ вес	Стоимость		Сумма
Профиль AL уголок 50x20x2 1 м	2	146	0,248	0,496	292		2472,6
Труба овал 2000x30x15	1	328	0,38	0,38	328		
Трубка 2м 1.2 мм 18 мм	4	138	0,288	1,152	552		
Трубка 2м 1.2 мм 14 мм	4	111	0,26	1,04	444		
Трубка 2м 1 мм 10 мм	4	67	0,164	0,656	268		
Трубка 1м 1 мм 8 мм	2	40	0,06	0,12	80		
Уголок оцинк 150x150x50	1	100	0,29	0,29	100		
Перфопластина 80x2x200	1	57	0,23	0,23	57		
Хомут червячный	8	12,5	0,017	0,136	100		
Болты Винты	5	30	0,1	0,5	150		
Крепеж	4	7,4	0,05	0,2	29,6		
Хомут металл	3	24	0,076	0,228	72		
							Масса
							5,428

т.е. конструкция из металла не дороже, чем из удочек. Масса около 5.5 кг. Одна трубка 18 мм по списку - запасная.

Результат расчета антенны в программе «MANNA-GAL» представлен в табл. 3.11.2.

Таблица 3.11.2. Результат расчета антенны «Волнового канал» на 20М

Пересчитанно 06.06.2016					
Диапазон	20		R=7mm		
Высота	5				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
13	11,7	10,65	1,92	11,53846	
13,5	11,18	10,19	1,94	11,11111	
14	10,82	9,84	1,92	10,71429	
14,2	10,66	9,69	1,92	10,56338	
15	10,08	9,14	1,87	10	
Диапазон	20				
Высота	7,5				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
13	11,66	10,51	1,94	11,53846	
13,5	11,16	10,09	1,94	11,11111	
14	10,78	9,69	1,94	10,71429	
14,2	10,64	9,54	1,89	10,56338	
15	10,04	9,01	1,87	10	
Диапазон	20				
Высота	10				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
13	11,58	10,35	1,92	11,53846	
13,5	11,2	9,92	1,93	11,11111	
14	10,68	9,49	1,94	10,71429	
14,2	10,52	9,34	1,94	10,56338	
15	9,92	8,83	1,7	10	

Показаны оптимальные размеры элементов антенны для разных частот и высот размещения антенны. Для сравнения показаны оптимальные размеры диполя.

Важно отметить, что с моим комплектом труб

Максимальная длина директора = 10.8 м

Максимальная длина вибратора = 11.2 м;

Максимальная длина директора без крайних секций= 9.2 м;

Максимальная длина вибратора без крайних секций = 7.6 м.

Таким образом, для построения антенны "Рефлектор + Вибратор" уже не хватает длины, т.к. для высоты подвеса 7.5 м и частоты 14.2 МГц для рефлектора нужно около 11.8 м.

Схема плеч антенны представлена в табл. 3.11.3.

Таблица 3.11.3. Схема плеч антенны

Директор						Вибратор					
0,8	1,8	1,8	2	1,8	0,8	1,8	1,8	2	1,8	1,8	11,2
		2,8		2,8			3,8		3,8		7,6
	4,6			4,6						5,6	
5,4				5,4	10,8						

Для директора – используются трубки: 1x2Mx18мм, 2x2Mx14мм, 2x2Mx10мм, 2x1Mx8мм.

Для вибратора – используются трубки: 2x2Mx18мм, 2x2Mx14мм, 2x2Mx10мм.

По схеме удобно прикидывать, как меняются размеры при добавлении или удалении сегментов. Также отмечу, что для двухметровых трубок рабочая длина 1.8 метра, для однометровых - 0.9 метра.

Результат расчета антенны в MANNA-GAL для 17M, 15M, 12M, 10M показан в табл. 3.11.4.

Таблица 3.11.4. Размеры антенны для диапазонов 17M-10M

За основу принять диаметр 14					06.06.2016						
Диапазон	17				R=7mm	Диапазон	12				R=7mm
Высота	5					Высота	5				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь		Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
	18,1	8,22	7,46	1,95	8,287293		24,9	5,88	5,25	1,94	6,024096
Высота	7,5					Высота	7,5				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь		Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
	18,1	8,2	7,26	1,94	8,287293		24,9	5,78	5,05	1,94	6,024096
Высота	10					Высота	10				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь		Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
	18,1	8,06	7,2	1,94	8,287293		24,9	5,82	5,31	1,95	6,024096
Диапазон	15				R=7mm	Диапазон	10				R=7mm
Высота	5					Высота	5				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь		Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
	21,2	6,96	6,27	1,95	7,075472		28,2	5,14	4,55	1,95	5,319149
Высота	7,5					Высота	7,5				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь		Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
	21,2	6,9	5,94	1,94	7,075472		28,2	5,06	4,64	1,94	5,319149
Высота	10					Высота	10				
Частота	В	Д	Расстояние	Диполь		Частота	В	Д	Расстояние	Диполь	
	21,2	6,86	6,31	1,94	7,075472		28,2	5,12	4,59	1,95	5,319149

В качестве мачты для этой антенны подойдет заводская телескопическая мачта, однако предположу, что не у каждого читателя она есть. Тогда можно использовать ствол тонкой очищенной сосны длиной от 5 метров.

Приведем пример небольшой высоты подвеса такой антенны – всего 4 метра. Для плоской модели из трубки с неизменным диаметром 14 мм получим следующие данные.

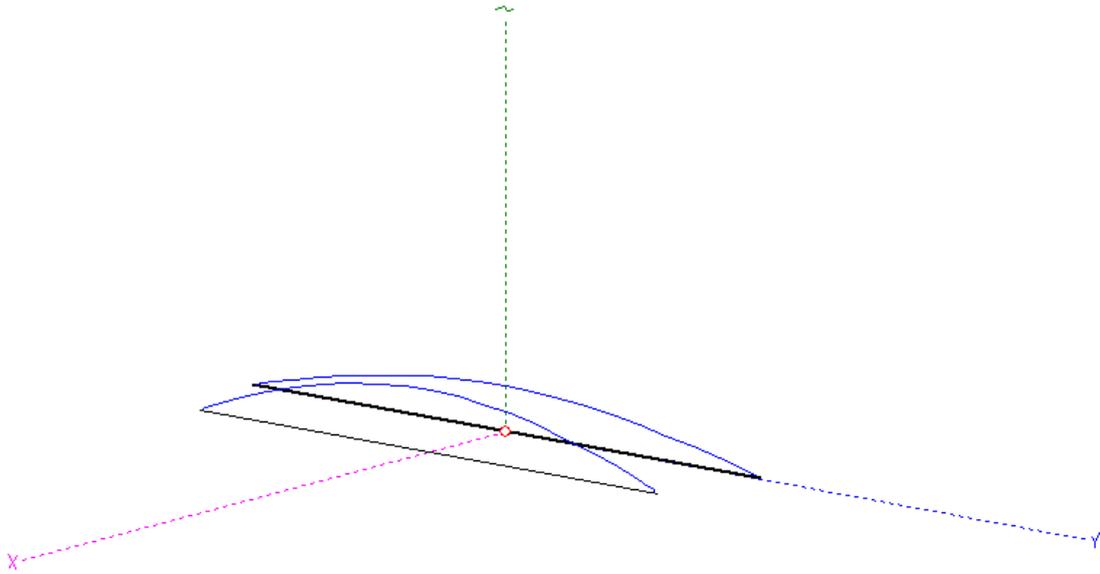


Рис. 3.11.2. Модель антенны «Волновой канал»

Для вибратора оптимальная длина 10.8 метров, для директора - 9.76 метров.

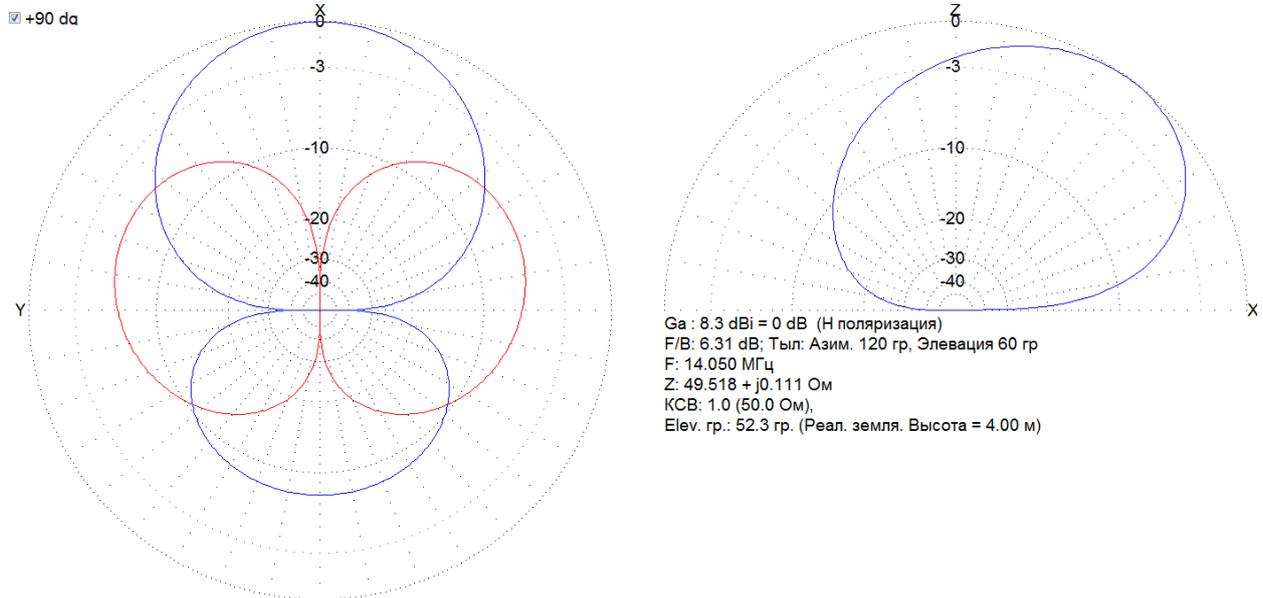


Рис. 3.11.3. ДНА «Волновой канал» на высоте 4М



Рис. 3.11.4. График КСВ антенны «Волновой канал»

КСВ по уровню 1.5 достигается в полосе 300 кГц (почти полный охват диапазона)

Данная модель упрощена - трубки имеют постоянный диаметр 14 мм, траверса отсутствует, нет прогиба трубок под собственной тяжестью. Но что если мы рассчитаем более точную модель, с учетом этих параметров? Добавим изменение радиуса трубки 16-14-12 мм, траверсу и изгиб (края антенны ниже траверсы на 40 см). Расчет показал, что выросло активное сопротивление до 80 Ом, ухудшилось F/V на 2 дБ.

КСВ по уровню 1.5 сузилось до 200 кГц, а центральная частота ушла выше до 14.3 МГц!

Лечение проводим удлинением элементов антенны: Для вибратора длина 11 метров, для директора длина 9.88 метров! Посмотрим на оптимизированную модель антенны с учетом изменения радиуса трубок, их упругости и наличия траверсы.

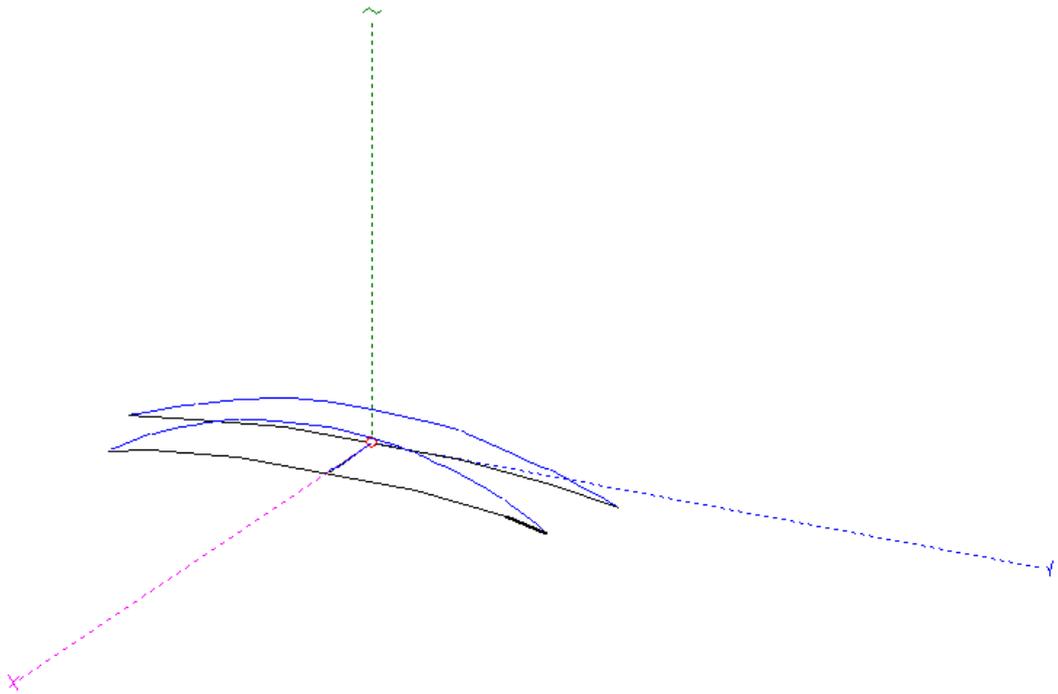


Рис. 3.11.5. Модель антенны «Волновой канал» с учётом изменения диаметров трубок, их упругости и траверсы

Траверса изолирована от «Волнового канала», поэтому её влияние минимально.

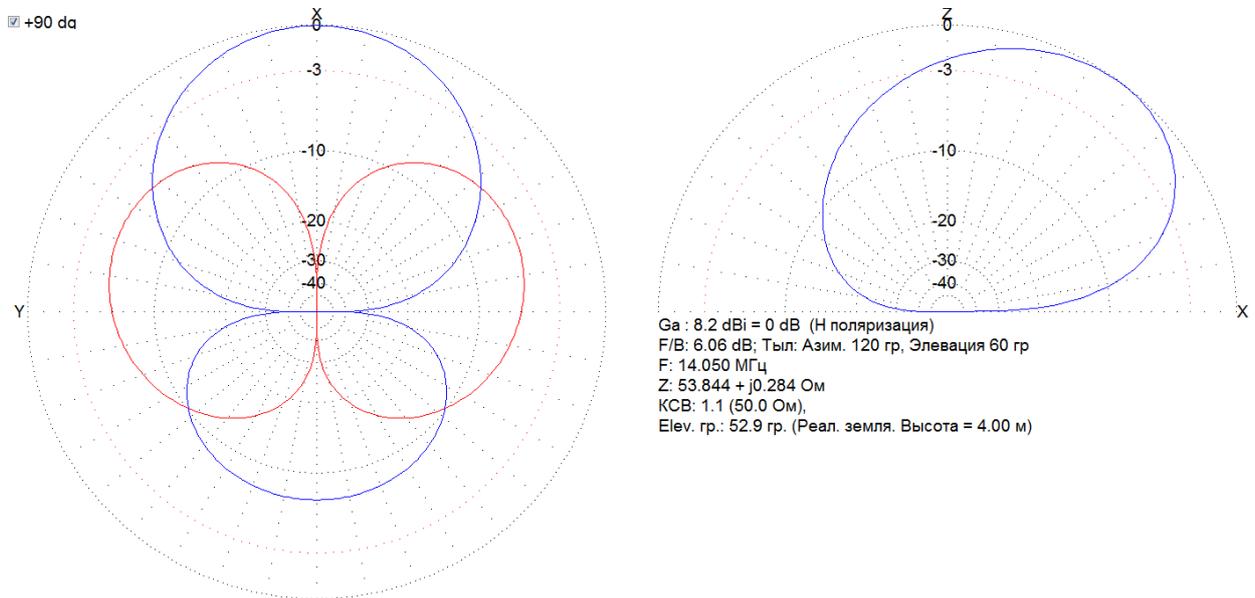


Рис. 3.11.6. ДНА «Волновой канал» с учётом изменения диаметров трубок, их упругости и траверсы



Рис. 3.11.7. КСВ «Волновой канал» с учётом изменения диаметров трубок, их упругости и траверсы

КСВ по уровню 1.5 в полосе 280 кГц, центральная частота около 14.050 МГц. Активное сопротивление 53 Ом, F/V около 6 дБ. Да, немного, но и высота подвеса антенны небольшая. При этом согласование нужно получить конструктивное, т.е. меняя только геометрию антенны, а это не будет оптимальным вариантом по критериям Ga и F/V.

Практическая настройка антенны сводится к операциям поднимания/опускания антенны и коррекции длин плеч. Расстояние между Вибратором и Директором в небольших пределах не сильно изменяет настройку антенны, а уменьшение даже до расстояния 1.5 м снижает F/V на 2 дБ, а усиление почти на 1 дБ, при этом активное сопротивление растёт, а реактивное уменьшается (в отрицательные значения), зенитный угол растёт.

Правила настройки антенны:

- 1) Корректировать длину вибратора, чтобы наилучшее значение КСВ было на заданной частоте;
- 2) Корректировать длину директора, для достижения наилучшего КСВ.

Таблица 3.11.5. Пример итераций настройки антенны.

14000 кГц	14060 кГц	14300 кГц	14500 кГц	Директор, см	Вибратор, см
3	2	1	2	+5 +5	+0 +0
3	3	3	3	+5 +5	+10 +10
2	1	3	4	+15 +15	+10 +10
0	0	3	5	+20 +20	+10 +10

В табл. 3.11.5 показан пример итераций настройки антенны. Указаны изменения длин элементов антенны, относительно расчетных, а также показания SWR-метра Yaesu FT-817 на рабочих частотах.

(+5 +5 означает, что на 5 см длиннее левое плечо, и на 5 см длиннее правое плечо чем по расчету.)

Оценка рабочей полосы показана в табл. 3.11.6.

Таблица 3.11.6. КСВ в рабочей полосе антенны «Волновой канал».

кГц	14000	14050	14100	14150	14200	14250	14300
SW	0	0	0	0	1	3	3
КСВ	<1.5	<1.5	<1.5	<1.5	>1.5	>2	>2

В итоге опытным путем я получил длины элементов для 20 М:

Вибратор = 11 м, Директор = 10.2 м.

Ширина полосы по уровню КСВ = 1.5 - порядка 150 кГц

А для 17М:

Вибратор = 8.52 м, Директор = 7.4 м. (тоже немного длиннее расчетных значений)

Питание антенны выполняется кабелем с волновым сопротивлением 50 Ом, через бухту диаметром 11 см, 13 витков, для уменьшения влияния кабеля на ДН антенны.

Посмотрим теперь на элементы конструкции антенны. На рис. 3.11.8 показаны элементы креплений: держатели плеч, хомуты, U-болты, червячные стяжки на трубах, уголок.

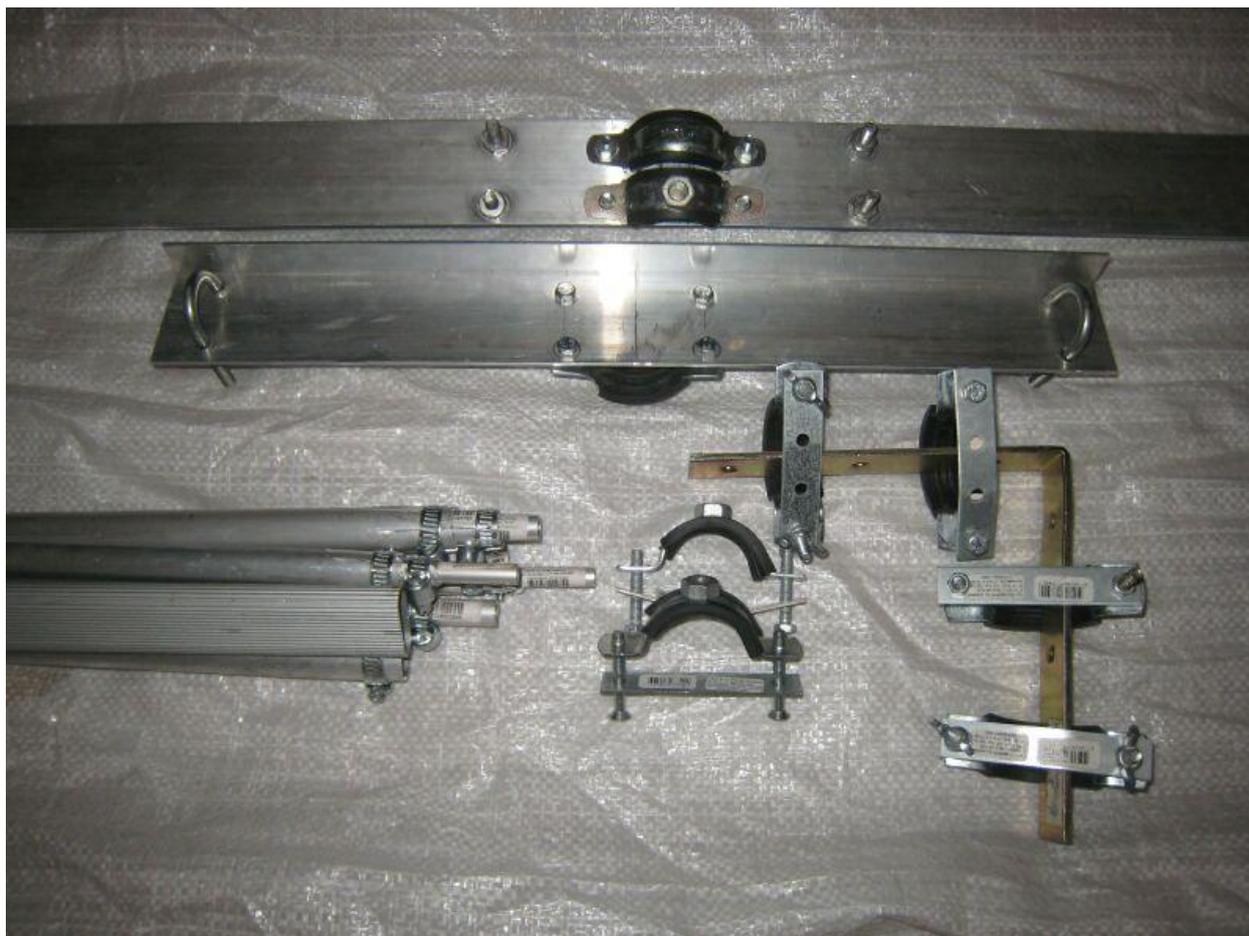


Рис. 3.11.8. Крепежные элементы антенны «Волновой канал»



Рис. 3.11.9. Узел питания антенны «Волновой канал»

На рис. 3.11.9 можно видеть, что плечи антенны крепятся U-образными болтами через резиновые изоляторы. Коаксиальный кабель распаян на клеммы для крепления винтами.

Вращение антенны выполняется вручную, в качестве опоры антенны - вкопанный столбик на который наваливается мачта.



Рис. 3.11.10. Этап сборки антенны «Волновой канал», установлена главная центральная трубка «директора»



Рис. 3.11.11. Установленная антенна «Волновой канал». Слева виден «GP» с двумя противовесами



Рис. 3.11.12. Установленная антенна «Волновой канал». Ориентация на запад

Помните, что Вы несёте ответственность за безопасное использование такой антенны. Указанные размеры и материалы позволяют использовать антенну при хорошей погоде, с незначительным ветром до 4 м/с. Для других условий следует использовать более толстые элементы, учитывая их прочностные характеристики. Наличие оттяжек с узлом вращения тоже желательно.

Известно, что «Волновой канал» следует размещать как можно выше, стремясь к высоте $\lambda/2$, однако даже на небольшой высоте он эффективнее чем диполь. Приведем сравнение данной антенны с «Диполем» и «Ground Plane» для разных высот установки. Диаграммы построены для зенитного угла в 10 градусов. Высота в метрах, усиление в дБи, диапазон 20М.

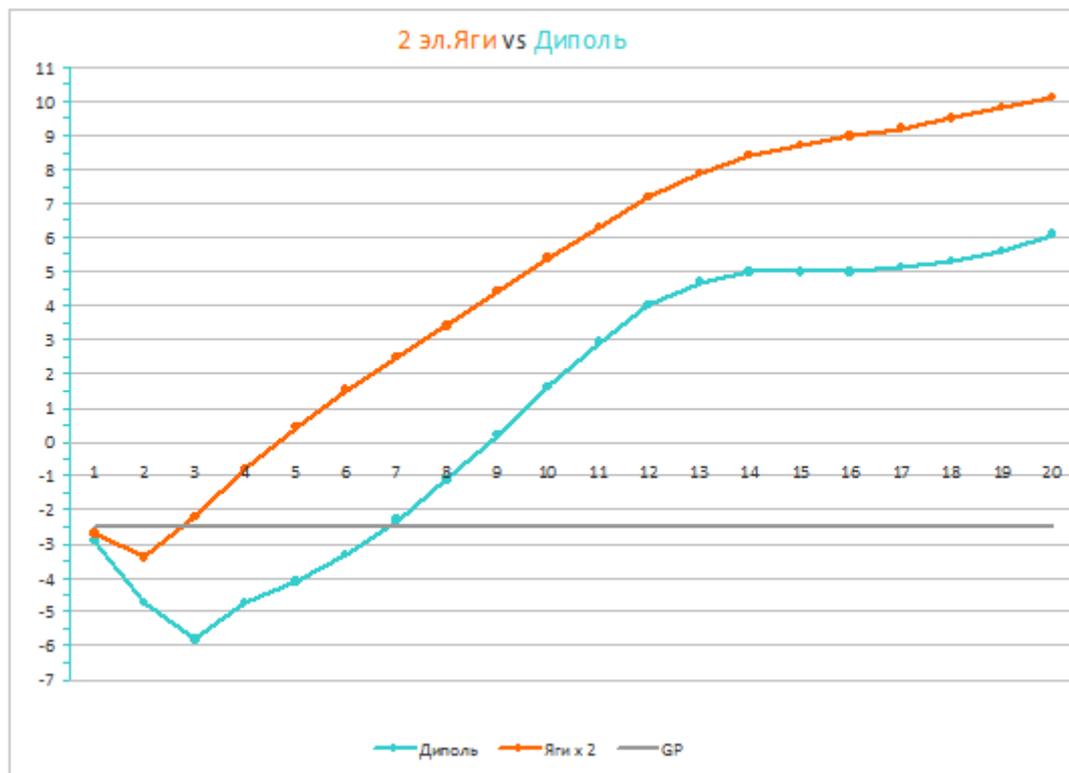


Рис. 3.11.13. График усиления Yagi, Dipole и Ground Plane

1. Хорошо видно, что усиление антенн растет с ростом высоты подвеса, однако выше 14 метров поднимать диполь не требуется, прирост усиления становится малым. Прирост усиления Яги чуть больше, но тоже незначителен после высоты 14 м.
2. Для одинакового усиления при данном зенитном угле высота диполя должна быть на 4 метра больше. Например, для усиления -1 дБ «Волновой канал» можно подвесить на высоте 4 метра, а диполь на 8 метрах. (данного усиления уже достаточно для проведения уверенных связей QRP как в SSB так и CW). Появляется выбор - высокая мачта и диполь без траверсы, либо мачта ниже, но с «Волновым каналом»
3. Для сравнения показано усиление вертикальной антенны «GP». (1/4-волновой). Видно, что «Волновой канал» достигает усиления «GP» уже на высоте установки 3 метра, а диполь при высоте 7 метров.

Ещё одно важное преимущество направленной антенны - работа с определенными направлениями, при этом минимизируется влияние источников помех с других направлений см. рис. 3.11.14. На окрашенных площадках буквами V и H отмечена исходная поляризация для данного направления которая, после отражения, может измениться произвольным образом.

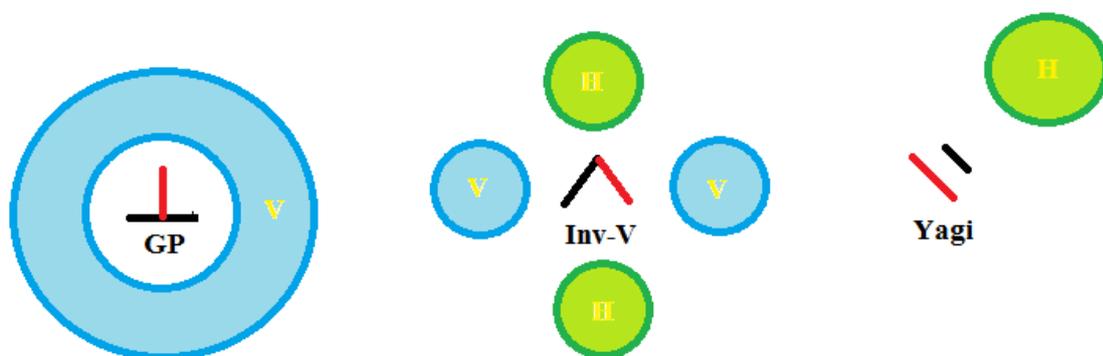


Рис. 3.11.14. Схема засветки земной поверхности разными антеннами (для первого ионосферного отражения)

Дополнительная информация:

- [1] «Огородно-полевая антенна» (Блог Гоши Радиста) https://gosh-radist.blogspot.com/p/blog-page_30.html
- [2] «Несимметричная проволочная Яги.» Форум qrz-e.ru RZ9CJ <http://qrz-e.ru/forum/29-5-1>
- [3] «Носимая направленная лёгкая КВ антенна UA6HJQ» <http://goryham.qrz.ru/ant/2el14mhz.htm>
- [4] «Москреп», <http://moskrep.ru/> <https://krep-komp.ru>
- [5] Гончаренко И.В., «Антенны КВ и УКВ.»
- [6] Ротхаммель Карл, «Антенны».
- [7] «Работа с Волновым каналом на 20 метров (Uda-Yagi 20M QSO)» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/08/20-uda-yagi-20m-qso.html>
- [8] «Сборка антенны Uda-Yagi 2 элемента на 20 М на буме 2 м» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/08/uda-yagi-2-20-2.html>
- [9] «Выезд для испытаний антенн и маяков в Вологодской области с 21.08.2016 по 26.08.2016.» http://lavrinenkov.blogspot.com/2016/08/21082016-26082016_77.html

3.12 Антенна «Волновой канал» на диапазоны 20М+15М

Многие, кто прочитал, а может быть даже повторил конструкцию антенны «Волновой канал» на диапазон 20М из двух элементов, задавались вопросом модернизации антенны. Возможность построения двухдиапазонной антенны на основе той же траверсы рассмотрена далее по тексту.

Напомним, что траверса имеет фиксированную длину 2 метра, активный элемент - вибратор, пассивный - директор.

Для преобразования антенны в двухдиапазонную используем принцип «Open Sleeve». Добавляем в конструкцию антенны пассивный (облучаемый) вибратор на диапазон 15М, а также рефлектор на 15М. Возможно сделать конструкцию с одним лишь вибратором на 15М, но отношение Front/Back получится совсем малым, около 2 дБ, ведь директор 20М – диапазона не совсем обладает допустимыми размерами рефлектора на 15М!

Итак, получен следующий вариант расположения элементов для высоты 5 метров:

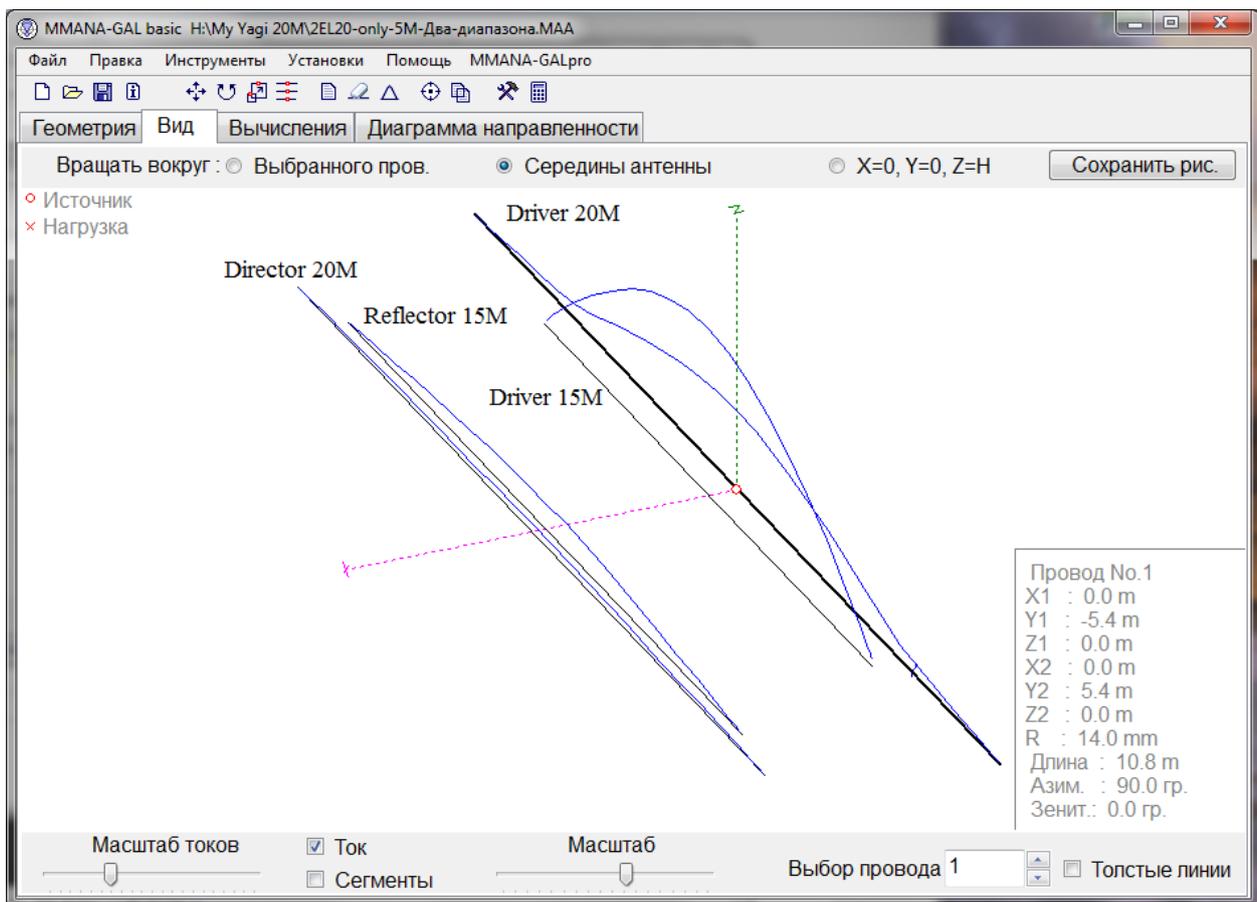


Рис. 3.12.1. Схема размещения элементов антенны

Отсчет расстояний между элементами по оси X ведется от Вибратора 20М диапазона, к нему же и подключаем кабель питания с устройством подавления тока оплетки. По оси Y показаны длины элементов.

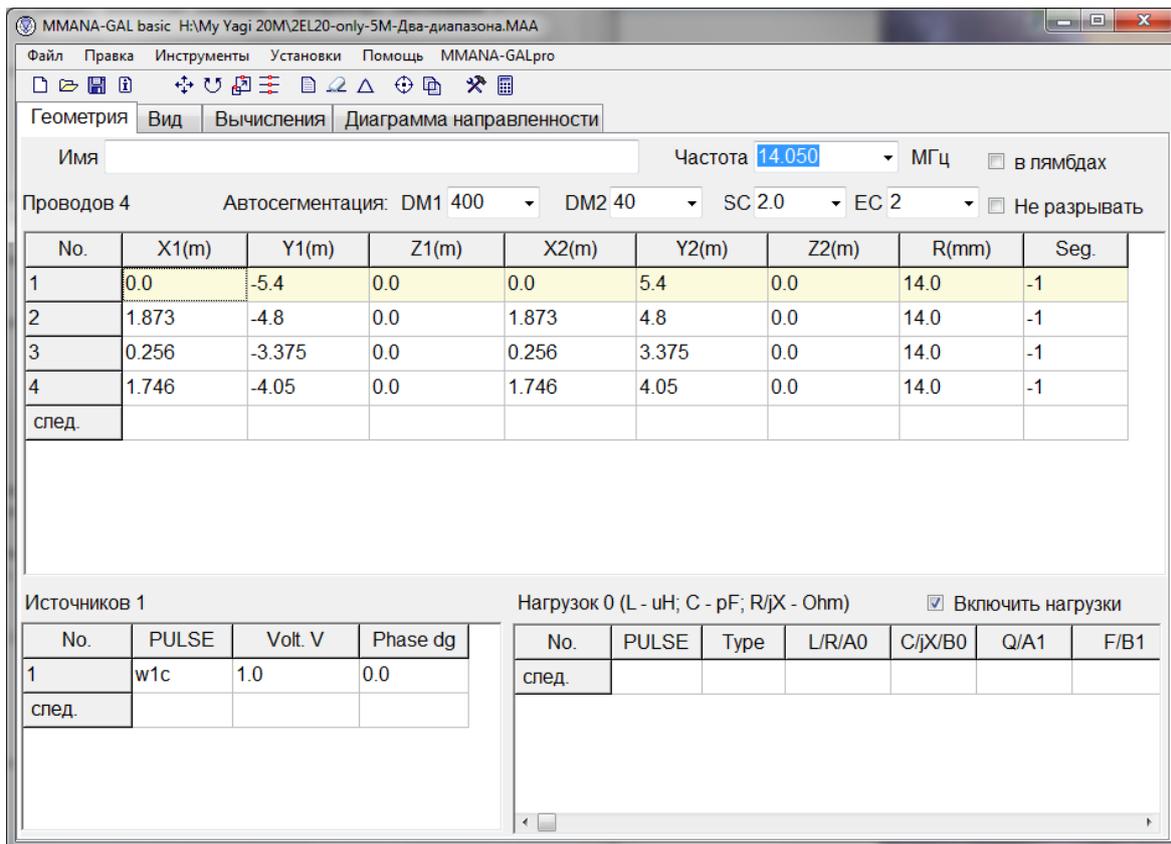


Рис. 3.12.2. Параметры элементов антенны

Делаем дроссель, сбухтовав кабель. Например по Gilbert WA2SRQ <http://www.zl2al.com/3219/building-a-multiband-yagi/>
6 витков на пластиковой оправе диаметром около 12 сантиметров:



Рис. 3.12.3. Запорный дроссель

Без запорного дросселя диаграмма антенны не соберется, да и параметры могут сильно "уехать".

Посмотрим теперь на результаты моделирования антенны.

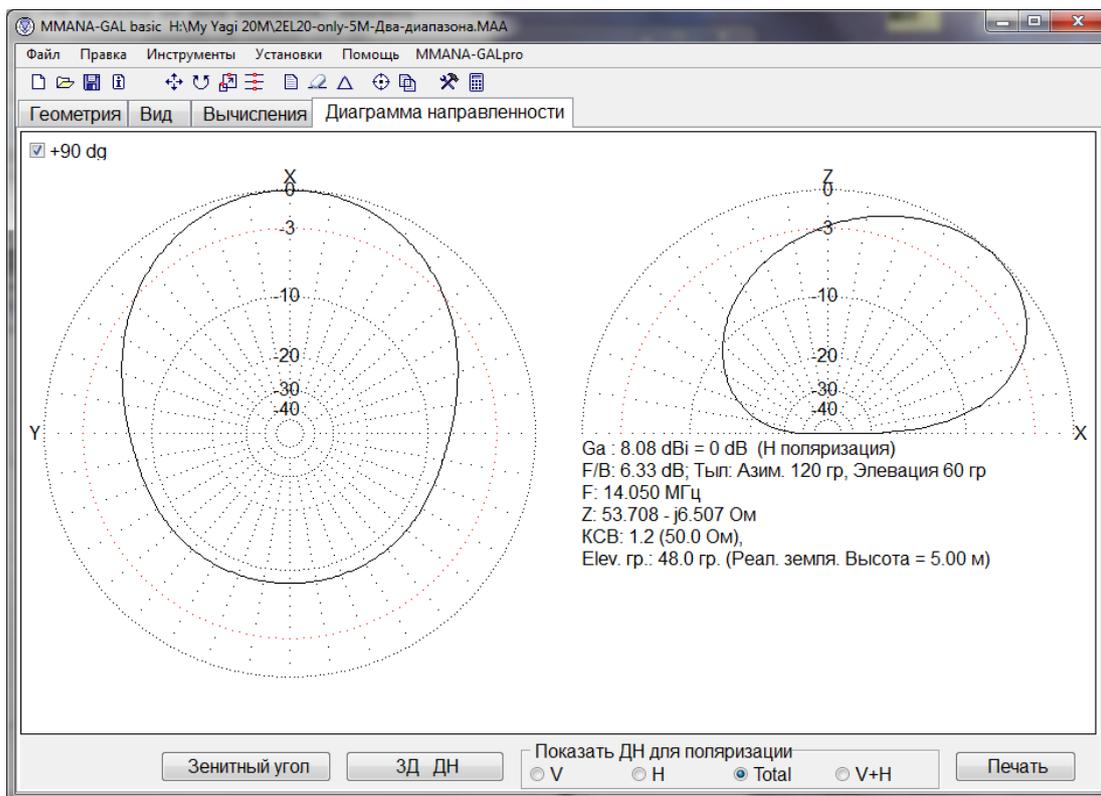


Рис. 3.12.4. Диаграмма направленности антенны, 20М

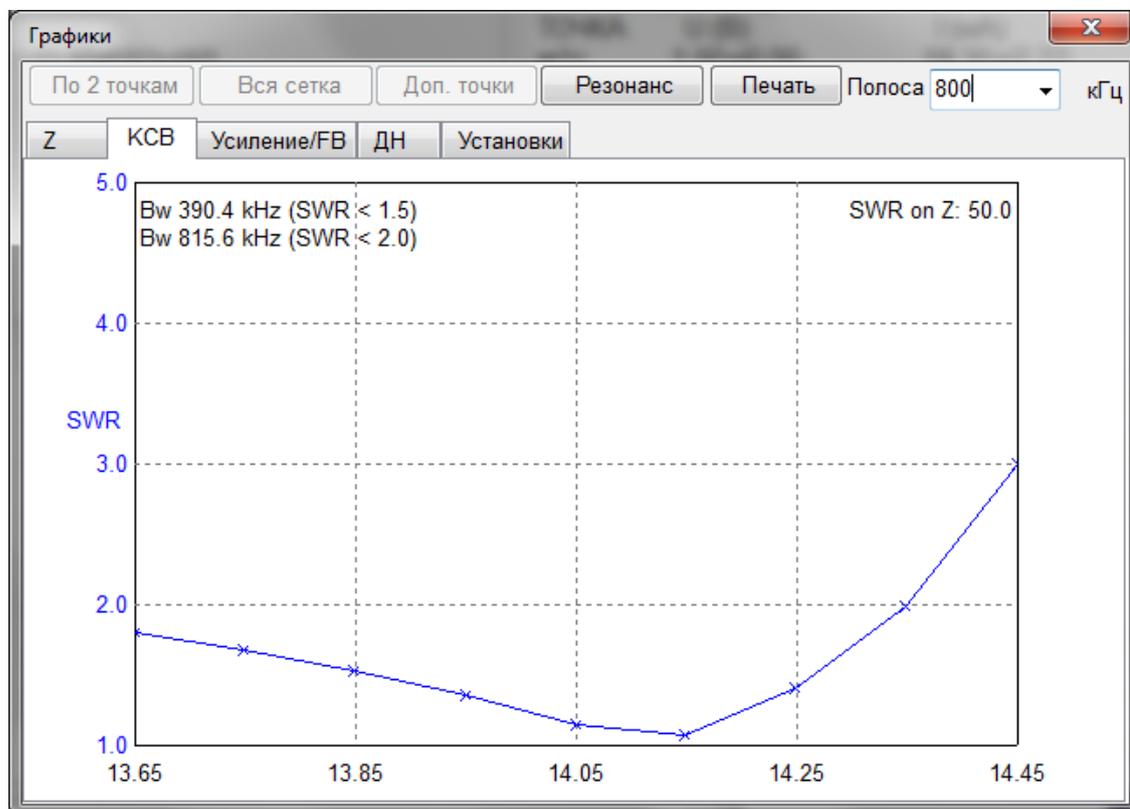


Рис. 3.12.5. Частотная зависимость KCB антенны, 20М

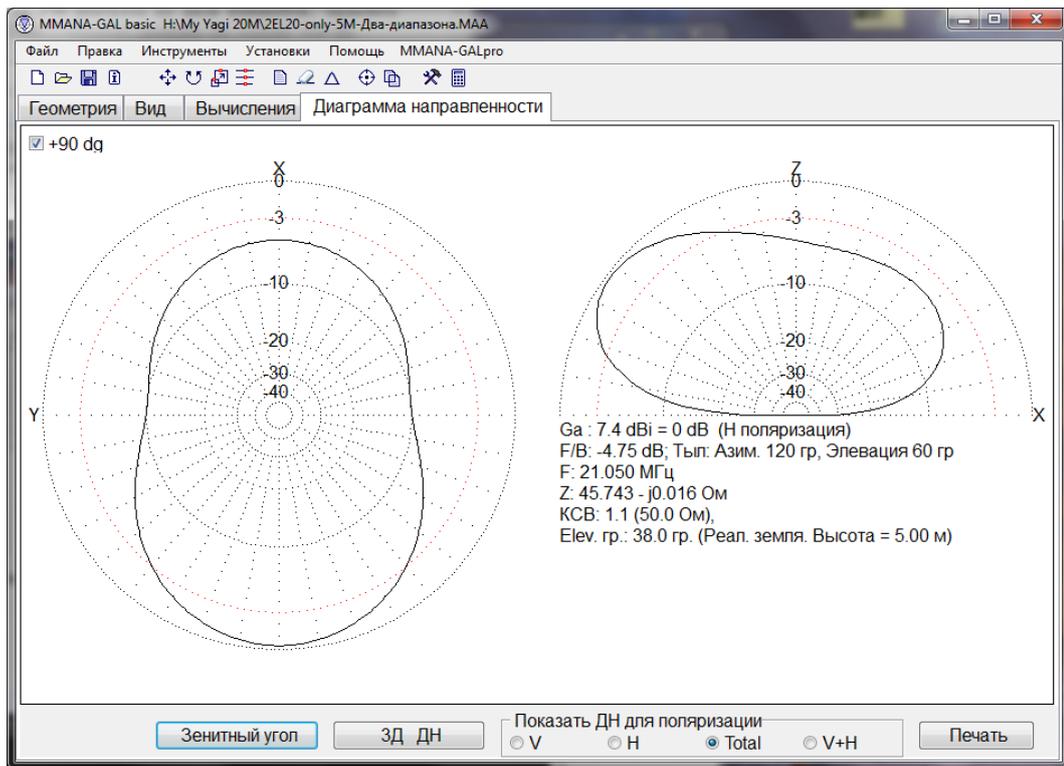


Рис. 3.12.6. Диаграмма направленности антенны, 15М

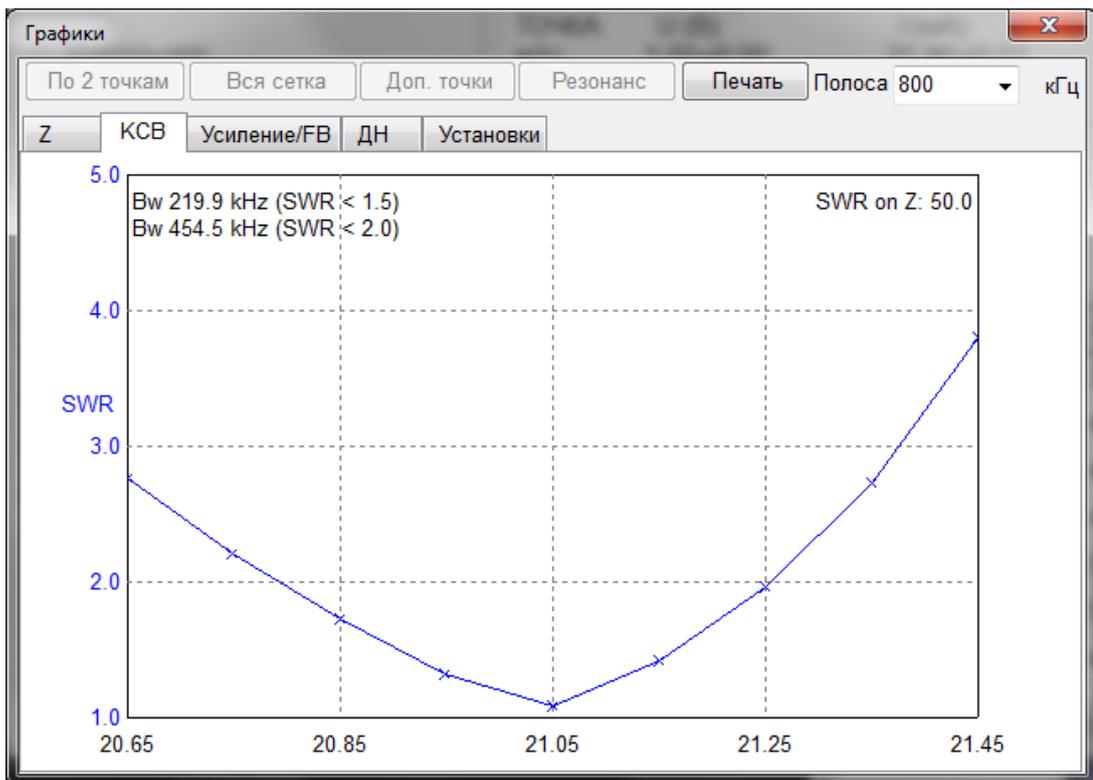


Рис. 3.12.7. Частотная зависимость КСВ антенны, 15М

Размеры антенны подобраны для максимального охвата диапазона. И на 20М, это удается - полоса по уровню КСВ=1.5 около 400 кГц. А вот на 15М полоса уже в два раза - примерно 200 кГц, что является платой за простоту конструкции, подаренной нам "Open Sleeve". Обратите внимание, что конструкция получается «Back-to-Back». Т.е. направления максимумов излучения на диапазонах 20М и 15М развернуты на 180 градусов. Когда 20М светит на север, 15М светит на юг.

Теперь посмотрим, как будут изменяться параметры антенны при увеличении высоты с 5 до 10 метров.

No.	F (МГц)	R (Ом)	jX (Ом)	KCB 50	Gh (dBd)	Ga (dBi)	F/B (dB)	Elev(гр)	Земля	Высота	Поляр.
3	14.05	37.22	11.4	1.48	---	9.78	8.17	28.3	Реал.	10.0	гориз.
2	14.05	41.96	0.3756	1.19	---	8.66	8.89	37.8	Реал.	7.0	гориз.
1	14.05	53.71	-6.507	1.16	---	8.08	6.33	48.0	Реал.	5.0	гориз.

Рис. 3.12.8. Изменение параметров антенны с высотой, 20М

No.	F (МГц)	R (Ом)	jX (Ом)	KCB 50	Gh (dBd)	Ga (dBi)	F/B (dB)	Elev(гр)	Земля	Высота	Поляр.
3	21.05	47.49	-19.88	1.5	---	9.36	-3.35	20.0	Реал.	10.0	гориз.
2	21.05	68.59	-4.457	1.38	---	8.9	-3.69	28.0	Реал.	7.0	гориз.
1	21.05	45.74	-0.0158	1.09	---	7.4	-4.75	38.0	Реал.	5.0	гориз.

Рис. 3.12.9. Изменение параметров антенны с высотой, 15М

Видно, что на высоте 10 метров, KCB увеличивается до 1.5, что позволяет работать, но лучше сделать оптимизацию длин и расстояний в антенне.

Воплощая эту антенну в «железе», следует уделить особое внимание безопасности установки, ведь её масса будет не менее 10 кг, а устойчивость к ветровым нагрузкам несколько ниже, чем у двухэлементной антенны.

Дополнительная информация:

[1] «Двухдиапазонная антенна волновой канал. 2 эл.20М + 2 эл.15М на траверсе 2 метра. 20/15m Yagi» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/09/2-20-2-15-2-2015m-yagi.html>

3.13 Влияние угла излучения антенн коротких волн на дальность радиосвязи

Часто встречаются рекомендации создавать антенны для дальних связей (DX) на коротких волнах (КВ) с очень низким углом излучения, а если же оператору не требуется дальность, предлагается делать антенны зенитного излучения, например, «Inverted-V». [1] Давайте уточним понимание этих рекомендаций.

Антенна излучает радиосигнал в пространство согласно своей диаграмме направленности (ДНА), часть энергии может достигать корреспондента без отражений (прямой волной) на небольшие расстояния (10...100 км). Другая часть излученной энергии может отражаться в ионосфере и вернуться на землю на достаточно большом расстоянии (до 4000 км для одного отражения).

При излучении сигнала вертикально вверх ионосферные зондирующие станции определяют максимальную частоту, при которой ещё происходит отражение – это критическая частота, $f_{кр}$. В дневное время $f_{кр}$ имеет значение около 7 МГц, в ночное время около 2 МГц. При более пологом падении волны на отражающий слой возможно отражение на более высокой, чем $f_{кр}$ частоте.

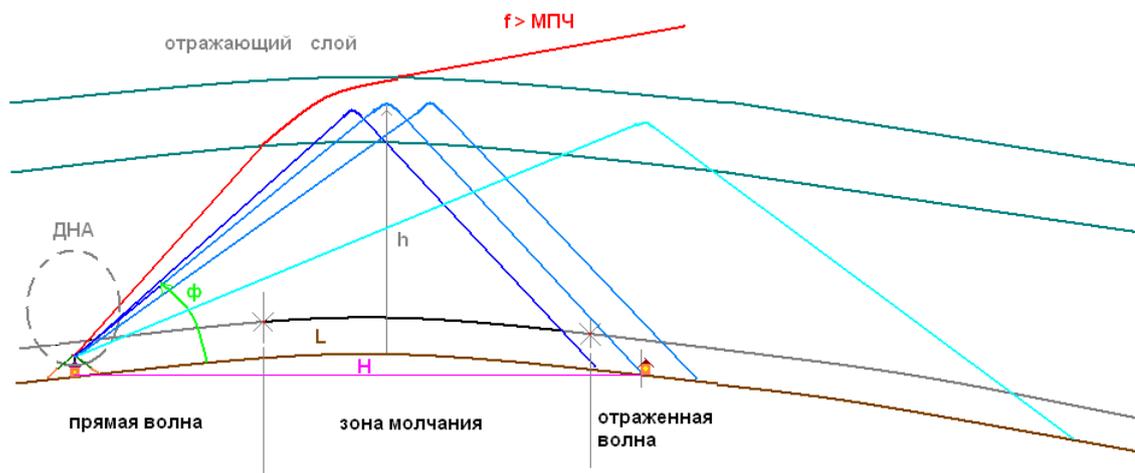


Рис. 3.13.1. Пояснение геометрических соотношений в распространении КВ

На рис. 3.13.1:

- Красный луч – слишком большой угол излучения, волна не возвращается на землю;
- Синие лучи – происходит отражение и уровень сигнала достаточен для приёма;
- Голубой луч – отражение есть, но уровень сигнала мал из-за большого пройденного расстояния волной.

Обозначим угол излучения антенны $\phi = \arctg(2 \cdot h / H)$, где H – длина хорды, кратчайшего расстояния между корреспондентами, h – высота отражающего слоя.

Хорда окружности вычисляется как:

$$H = 2 \cdot R \cdot \sin(\alpha / 2);$$

Где средний радиус Земли $R = 6371$ км, а угол α вычисляется как:

$$\alpha = L \cdot 360 / D;$$

где средний диаметр Земли $D = 40075$ км., а L – расстояние до корреспондента по поверхности земли (WW Loc).

В большинстве случаев, можно пренебречь сферичностью земли и считать, что $L = H$. (Например для $L = 4000$ км $H = 3930$ км).

Также отмечу, что для известного угла ϕ можно рассчитать максимальную частоту отражения как

$$f_{\text{макс}} = f_{\text{кр}} \cdot \sqrt{\{(1 + 2h/R) / (\sin^2 \phi + 2h/R)\}} [2];$$

Рассмотрим углы излучения и усиление у антенн диапазона 20 м.

Для моделирования в MMANA-GAL[3] возьмем следующие антенны:

- Inv-V, высота подвеса 5 м, высота крайних точек 1.5 м;
- LW, высота подвеса около 3 м;
- VP2E-(EF), концевое питание, высота подвеса 5 м, высота крайних точек 1.5 м, длина компенсаторного противовеса 1.5 м;
- «GP», высота около 5 м, 4 противовеса;
- Yagi-2el (5m), двухэлементная Уда-Яги антенна, высота 5 м, расстояние вибратор-директор 3 м.

Результаты моделирования приведены в табл. 3.13.1.

Таблица 3.13.1. Сравнение усиления антенн

Угол	Антенна				
	Inv-V, dBi	LW, dBi	VP2E-EF, dBi	GP, dBi	Yagi-2el (5m), dBi
50 °	4.3	2.6	-5.5	-2.6	8.9
40 °	3.5	0.1	-4.2	-1	8.8
30 °	2	-2.8	-3.2	-0.2	8
20 °	-1	-5.9	-2.6	-0.3	5.8
10 °	-5.9	-9.7	-2.2	-2.6	0.7
5 °	-11.7	-13.9	-2.1	-6.4	-5
3 °	-16	-17.4	-2.1	-9.8	-9.3

Из практической работы на диапазоне можно отметить, что основная доля QSO находится при углах от 15 до 40 градусов. При угле больше 40 градусов частота передатчика превышает МПЧ для данного угла и волна не отражается. При угле меньше 15 градусов сказывается нехватка мощности и усиления антенны.

Ниже приведены графики зависимости усиления (в dBi) от угла излучения (в градусах) для анализируемых антенн.

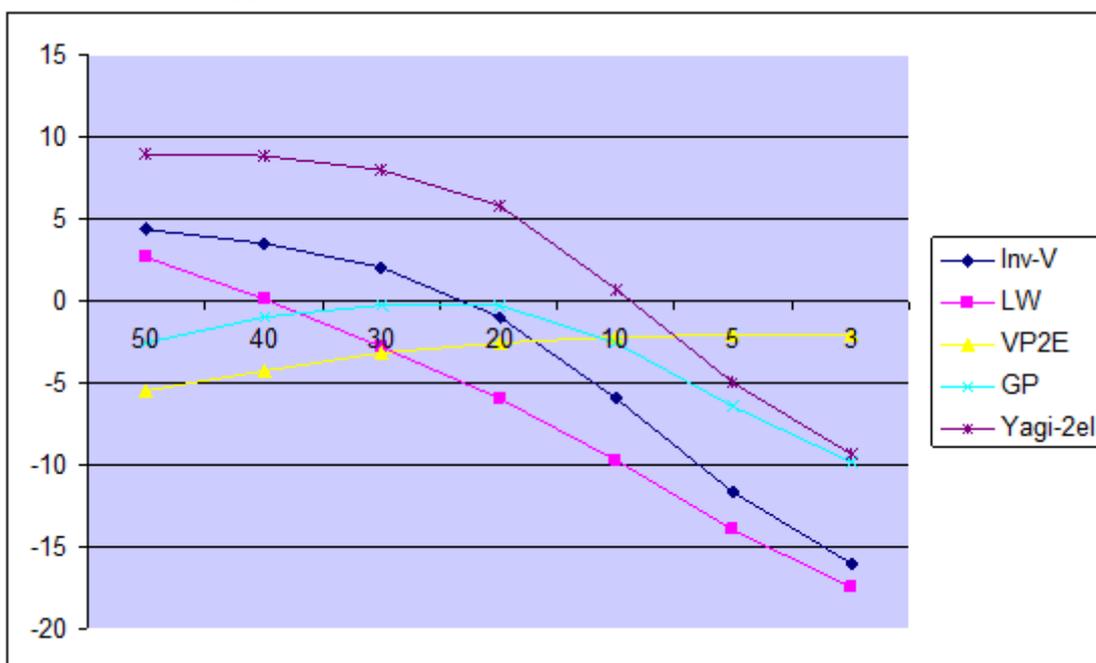


Рис. 3.13.2. Графики усиления антенн

С учетом практических наблюдений отмечу, что связи телефонией удавалось проводить при усилении антенны в заданном направлении не хуже -3 дБ, а в режиме DIGI/CW при усилении антенны в заданном направлении не хуже -8 дБ.

Построим теперь таблицы рабочих углов и дальности связи с учетом особенностей отражения в ионосфере и усиления антенн.

Таблица 3.13.2. Рабочие углы и расстояния для SSB

Антенна	Рабочие углы, °	Расстояния, км
Inv-V	40...15	1000...3000
LW	40...30	1000...1400
VP2E-EF	30...3	Не менее 1400
GP	40...10	1000...4000
Yagi-2el	40...7	Не менее 1000

Таблица 3.13.3. Рабочие углы и расстояния для DIGI (CW)

Антенна	Рабочие углы, °	Расстояния, км
Inv-V	40...8	Не менее 1000
LW	40...15	1000...3000
VP2E-EF	40...3	Не менее 1000
GP	40...4	Не менее 1000
Yagi-2el	40...4	Не менее 1000

Показаны величины для одного ионосферного отражения.

Таким образом, можно отметить, что антенна «Inverted-V» работает лучше других одноэлементных антенн в зоне углов не ниже 20 градусов, однако для связи при углах менее 20 градусов предпочтение следует отдать антенне «VP2E». Антенна «Уда-Яги» приведена для примера того, что появление даже одного дополнительного элемента в конструкции значительно повышает усиление антенны, а её приподнятую диаграмму направленности (в данном примере) можно опустить ниже к горизонту, подняв антенну с 5 до 10 метров над землей.

Описанные выше результаты были получены в 2015-2016 годах при достаточно неплохой активности солнца, приведем результаты еще одной статистики взятой из контекста РМС в 2018 году, когда активность солнца снизилась.



Рис. 3.13.3. Статистика QSO по углам на 20М, CW

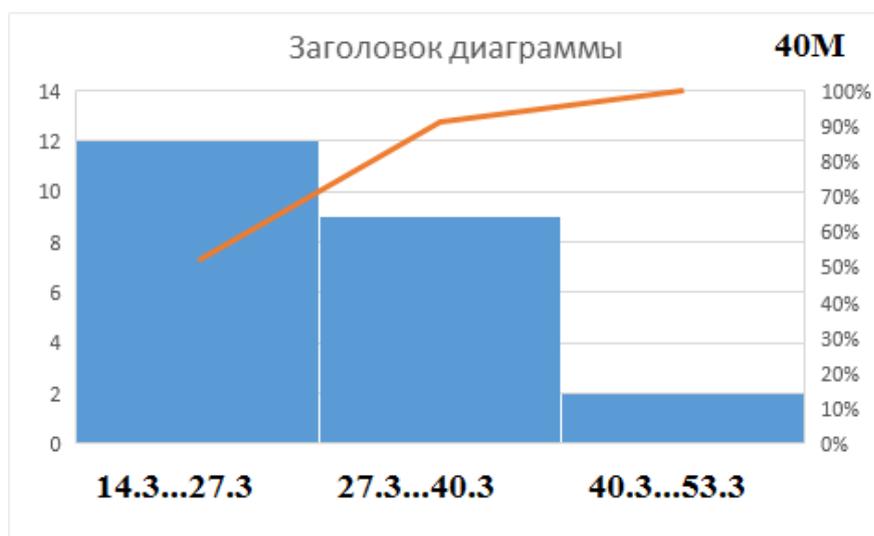


Рис. 3.13.4. Статистика QSO по углам на 40М, CW

Проводить подобные оценки можно нанеся условные направления излучения антенны, и расстояния до корреспондентов. см. рис. 3.13.5.

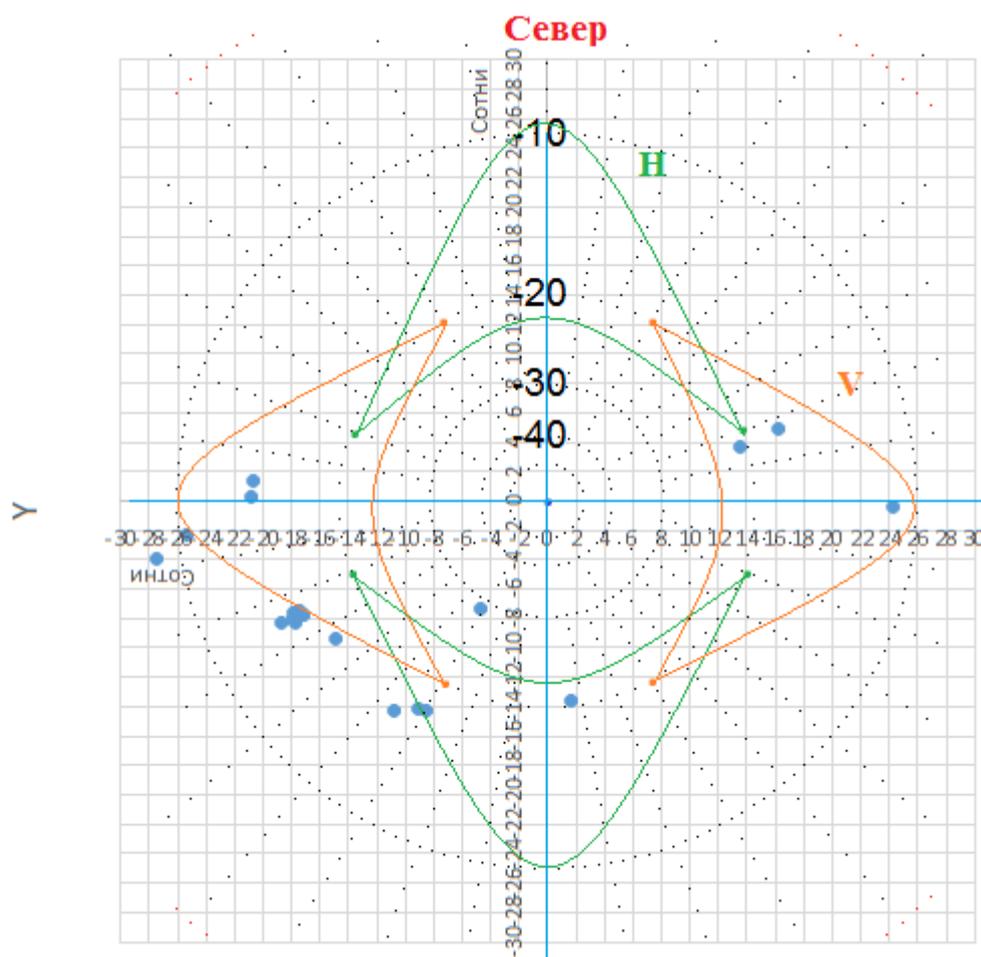


Рис. 3.13.5. Карта с ДНА и корреспондентами

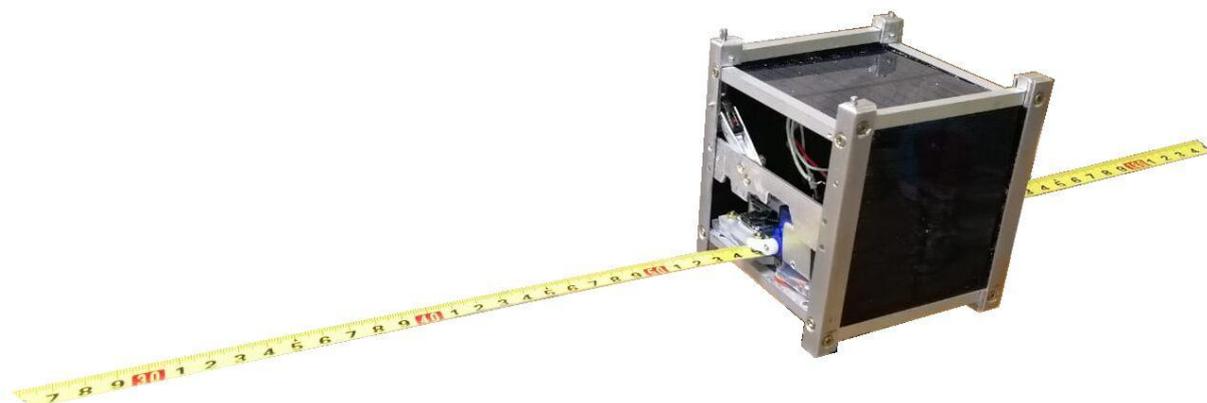
В годы пониженной солнечной активности МПЧ мала, и использование низко излучающих антенн актуально как никогда.

Дополнительная информация:

- [1] Игорь Лаврушов, (UA6HJQ), «Антенна-трансформер для экспедиций», http://www.mountain.ru/radio/library/2005/ua6hjq_2/index.shtml
<http://goryham.qrz.ru/ant/ant-tr/ant-tr.htm>
- [2] Дымович Н. Д., «Ионосфера и ее исследование», Массовая радиобиблиотека, Выпуск 513, Энергия, 1964 г.
- [3] «Описание базовой MMANA-GAL», <http://gal-ana.de/basicmm/ru/>
- [4] Гончаренко И.В., «Антенны КВ и УКВ часть 2, Основы и практика.» М.: ИП РадиоСофт, Журнал «Радио», 2005 г.
- [5] Э.Ред., «Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике.» - М.:Мир, 1990.
- [6] «Влияние угла излучения антенн коротких волн на дальность радиосвязи.» http://lavrinenkov.blogspot.com/2017/01/blog-post_12.html
- [7] Игорь Лавриненков, «Влияние угла излучения на дальность связи» CQ-QRP #53 (Зима 2016)
- [8] «Оценка антенн и зон видимости на основании результатов радилюбительских соревнований.» <http://lavrinenkov.blogspot.com/2018/03/blog-post.html>

3.14 Турникетная антенна круговой поляризации диапазона 70 см.

Для приёма сигналов с радиолюбительских искусственных спутников Земли, неплохо иметь специальную антенну, обладающую круговой поляризацией. Как правило антенной на простых спутниках являются штыри, а их ориентация в пространстве – для наблюдателя неизвестна. см. рис. 3.14.1.



*Рис. 3.14.1. ИСЗ R2AJA-SAT, собираемый в Tinovitsky Mechanical Laboratory.
Развернуты две штырьевые антенны на диапазоны 2М и 70СМ*

Поляризационные потери при передаче с антенны линейной поляризации на антенну круговой поляризации составляют 3 дБ, при этом положение приёмной антенны круговой поляризации относительно передающей антенны не принципиальна. Если бы мы использовали антенну с линейной поляризацией на приём, то нам необходимо было бы постоянно угадывать ее ориентацию, иначе приём становился бы затруднён, особенно в положении ортогональности обеих антенн.

Предлагаемая антенна строится по схеме скрещенных на 90 градусов трёхэлементных волновых каналов, смещенных в пространстве на четверть длины волны см. рис. 3.14.2.

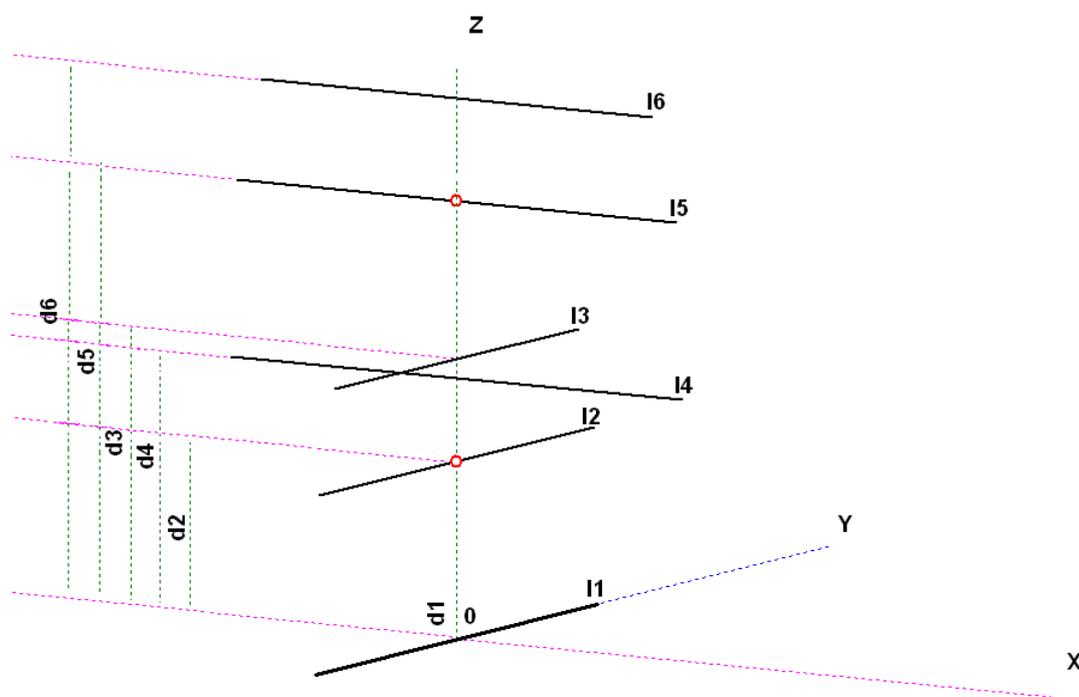


Рис. 3.14.2. Антенна круговой поляризации

Величины ее элементов и их расположение представлены в табл. 3.14.1.

Таблица 3.14.1. Размеры элементов и их расположение

Элемент	Расстояние от центра системы отсчета (d) в м.	Длина элемента в м.
I1 (Рефлектор1)	0	0.344
I2 (Вибратор 1)	0.117	0.336
I3 (Директор 1)	0.185	0.298
I4 (Рефлектор 2)	0.172	0.344
I5 (Вибратор 2)	0.289	0.336
I6 (Директор 2)	0.357	0.298

Антенна собирается на базе ПВХ водопроводной трубы длиной порядка 0.5 м и диаметром 1/2 дюйма. Для проделывания отверстий можно использовать дрель или специальный станок. В качестве элементов антенны, можно взять жесткую проволоку диаметром 1.5 – 2 мм. из меди, латуни, алюминия или стали.

Для закрепления вибраторов, необходимо предусмотреть специальные вкладыши из маленьких пластиковых трубок, которые нужно предварительно вклеить в несущую трубу антенны. Возможно также собирать антенну на базе квадратного бруска длиной около 0.5 м, что несколько упростит разметку для крепежей элементов, но увеличит массу конструкции.

Для обеспечения согласования волновых сопротивлений вибраторы №1 и №2 подключаются к 50-Омному кабелю любой длины через отрезки коаксиального кабеля с волновым сопротивлением 75 Ом длиной равной $k \cdot \lambda / 4$, что для обычного телевизионного кабеля составляет около 0.12 м.

Диаграмма направленности данной антенны близка к полусфере. Ширина ДН по уровню -3 дБ около 90 градусов, направление максимального излучения вдоль оси Z. Результат моделирования ДН в программе «MANNA-GAL» показан на рис. 3.14.3.

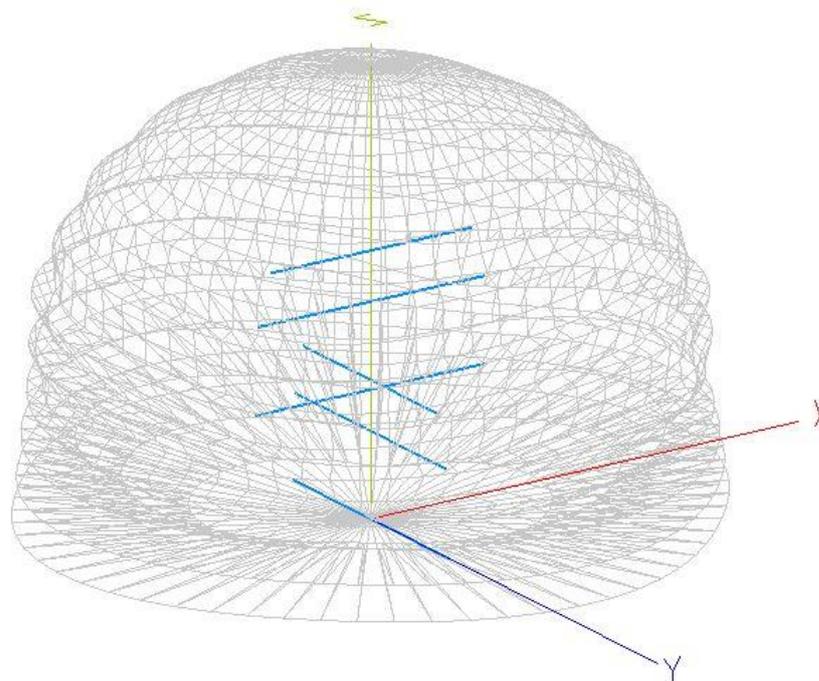


Рис. 3.14.3. Диаграмма направленности антенны круговой поляризации

Теоретический КСВ, рассчитанный на программе «MANNA-GAL» менее 1.5 в диапазоне от 425 МГц до 445 МГц и достигает своего минимума равного 1.1 при частоте 435 МГц.

Примерный вид готовой антенны представлен на рис. 3.14.4.

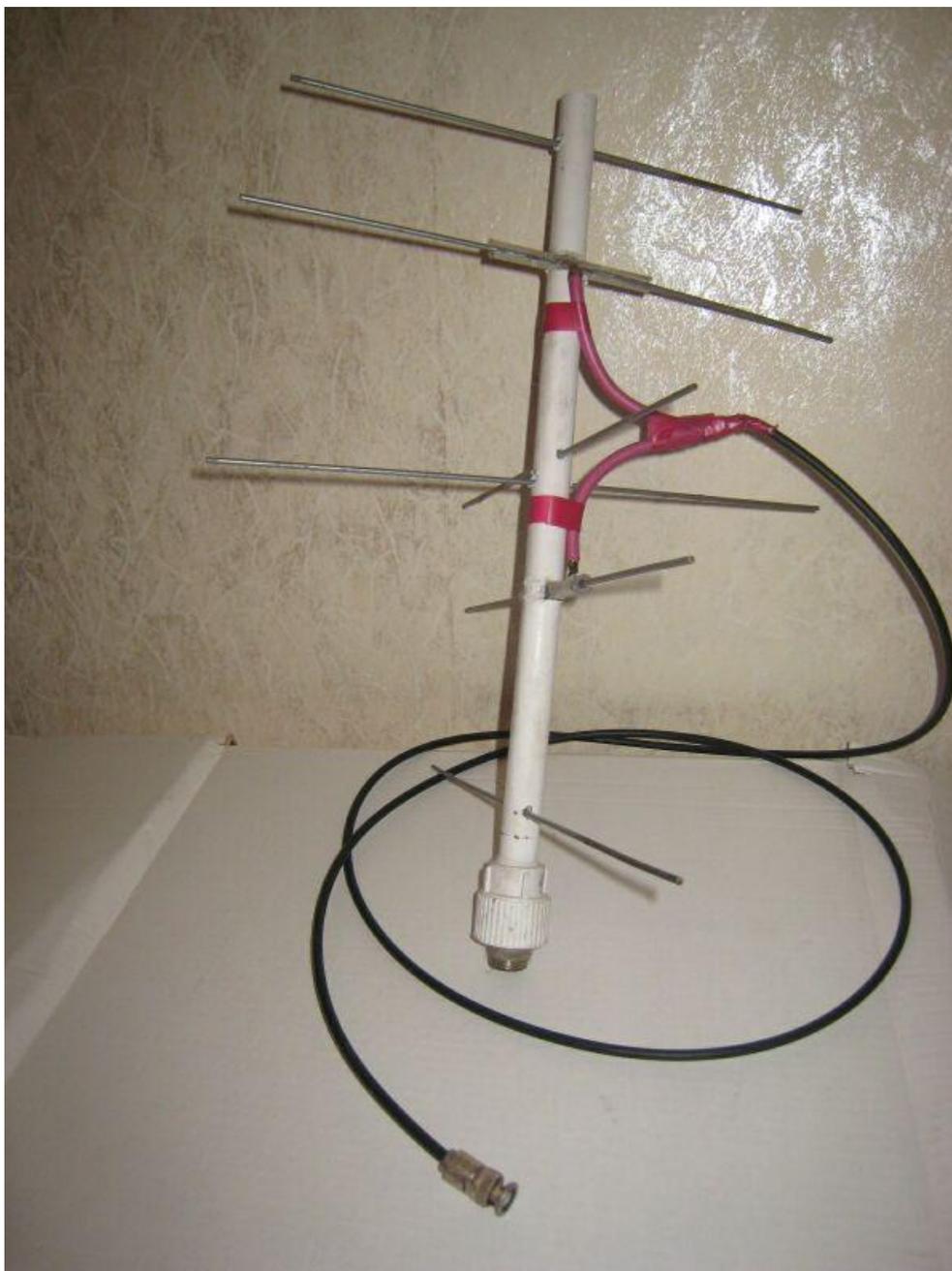


Рис. 3.14.4. Внешний вид антенны круговой поляризации

Дополнительная информация:

[1] Ротхаммель К., «Антенны», издательство Энергия 1979 г.

[2] Makoto Mori, «MMANA-GAL basic», <http://www.radio.ru/mmana/>

[3] Mak SV1BSX , «Antenna Circular Polarization»,
<https://qsl.net/sv1bsx/antenna-pol/polarization.html>

[4] Лихобабин В., «Широкополосные антенны волновой канал 435 МГц»,
<http://ra6foo.qrz.ru/w435.html>

[5] И. ЛАВРИНЕНКОВ. "Антенна диапазона 432 МГц с круговой поляризацией." Радио. - 2015. - № 6

Глава 4. Электронные самоделки

4.1 Металлоискатель на трёх транзисторах с кварцевой стабилизацией опорного генератора

Предлагаемая статья познакомит вас с построением металлоискателя «на биениях», и возможно, с ней вы сможете обнаружить некоторые металлические предметы. Преимущество данной схемы - минимум намоточных элементов, доступная элементная база, хорошая стабильность частоты см. рис. 4.1.1.

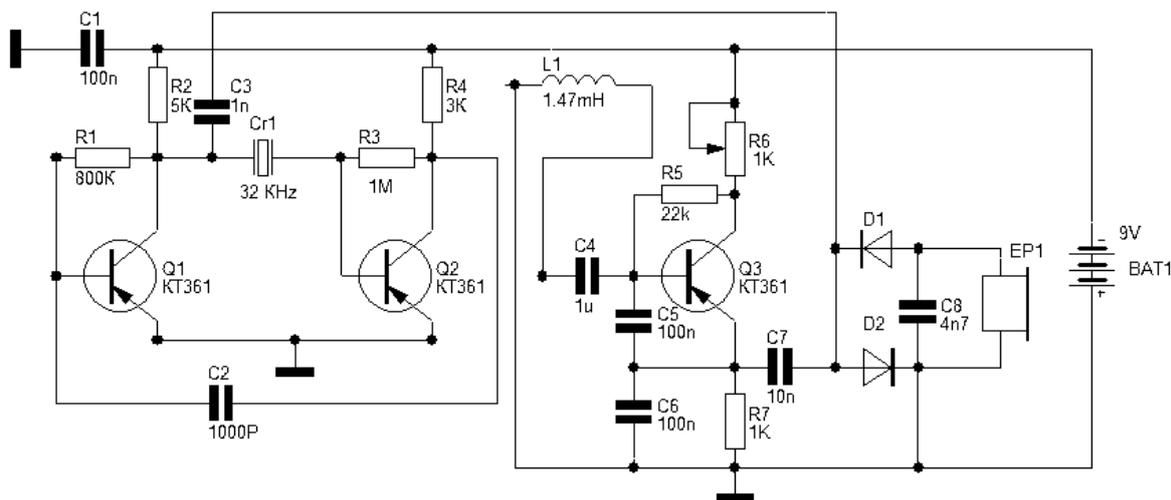


Рис. 4.1.1. Принципиальная схема металлоискателя на трёх транзисторах с кварцевой стабилизацией

Эталонный генератор на транзисторах Q1 и Q2 стабилизирован кварцем. Подстроить частоту генерации можно конденсатором C2, меняя номинал в пределах от 1000 до 4000 пФ. Поисковый генератор на транзисторе Q3 настраивается резистором R6. Когда частоты поискового и эталонного генератора станут близки – на смесителе из диодов D1 и D2 появится разностная частота звукового диапазона, которую воспроизводит высокоомный капсюль или наушники.

Поисковая катушка состоит из 70 витков провода с диаметром жилы 0.3-1 мм на каркасе диаметром 12 см. Значение индуктивности такой катушки около 1,5 мГн. Транзисторы – любые маломощные, р-п-р типа.

Диоды – любые высокочастотные маломощные для детектирования.

Конденсаторы – для поискового генератора желательно с небольшим ТКЕ.

Резисторы можно использовать любые, в пределах $\pm 20\%$ от указанных номиналов.

Кварц Cr1 – часовой на частоту 32 кГц.

Капсюль EP1 типа ТА-56М 1600 Ом или аналогичный высокоомный. Можно использовать пару капсюлей (наушники) соединенных последовательно.

Частота поискового генератора около 20 кГц (первая гармоника)

Частота эталонного генератора 32 кГц (первая гармоника)

Смеситель выделяет сигнал смешивания второй гармоники эталонного генератора и третьей гармоники поискового генератора, который лежит в звуковом диапазоне.

Подбором элементов C4, C5, C6 можно настраивать частоту колебаний в поисковом генераторе, а элементом C2 – в эталонном. Главное – настроить генераторы так, чтобы разница частот гармоник генераторов находилась в хорошо слышимом диапазоне: $|F_{\text{эталон}} - F_{\text{поиск}}| = 1000 \pm 600$ Гц.

При U питания 9 В потребляемый ток около 5 мА. Амплитуда сигнала эталонного генератора около 0.42В Амплитуда сигнала поискового генератора около 1.26 В. Амплитуда сигнала на капсюле 0.2 В. Допускается питание от 5 до 9 В.

Плату металлоискателя можно нарисовать лаком и протравить или использовать заготовки для макетирования.



Рис. 4.1.2. Пример платы металлоискателя. Поверхностный монтаж
Пример собранной конструкции показан на рис. 4.1.3, рис. 4.1.4.



Рис. 4.1.3. Блок электроники



Рис. 4.1.4. Собранное устройство

Сдвиг частоты поискового генератора зависит от типа предмета, в поле зрения поисковой катушки – ферромагнетики и парамагнетики делают сдвиг в одну сторону, диамагнетики – в другую. Соответственно изменяется и тон биений, регистрируемый оператором металлоискателя. Обнаружить представленным металлоискателем можно крупные предметы, на глубине до 10 см, небольшие монеты на расстоянии до 2 см.

Дополнительная информация:

[1] «Магнетики = диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики»
<https://96kw.blogspot.com/2016/02/blog-post.html>

4.2 Автоматический светильник для подсветки растений

Этот светильник можно использовать для подсветки комнатных растений (цветов, рассады), он включается автоматически, когда в комнате становится темно. Схема светильника представлена на рис. 4.2.1.

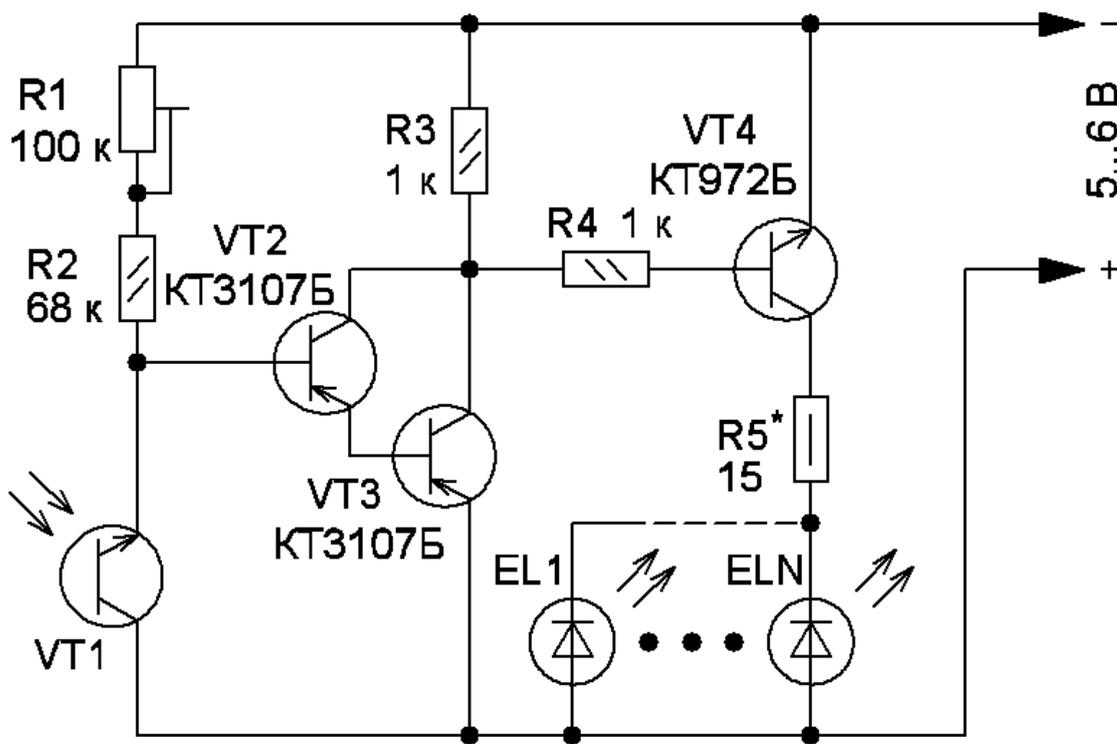


Рис. 4.2.1. Принципиальная схема светильника

При достаточном освещении сопротивление фототранзистора VT1 мало и весь ток, задаваемый резисторами R1 и R2, протекает через него. Напряжения на базе транзистора VT2 недостаточно для его открывания, поэтому транзисторы VT3, VT4 закрыты и осветительные светодиоды обесточены. В этом режиме потребляемый ток не превышает 0,1 мА. Когда освещение фототранзистора снижается, его сопротивление и напряжение на нём увеличиваются, транзисторы VT2, VT3, а затем и VT4 открываются и светодиоды начинают светить. Ток через них ограничен резистором R5. Порог включения устанавливают подстроечным резистором R1. Все элементы, кроме светодиодов и фототранзистора монтируют на макетной печатной плате, которая размещена в корпусе основания светильника рис. 4.2.2.



Рис. 4.2.2. Внешний вид светильника

В качестве основания использована пластиковая коробочка с проделанными отверстиями для вывода проводов питания (в нижней части коробочки), проводов фототранзистора и проводов питания светодиодов, которые выведены через верхнее отверстие и проложены вдоль несущей штанги. Штангу можно изготовить из пластмассовой рейки, которая крепится к основанию светильника с помощью металлических уголков. На конце штанги прикрепляется светодиодная сборка, по возможности, с отражателем. Фототранзистор располагают так, чтобы на него не попадал свет от управляемого им светильника.

Применены постоянные резисторы МЛТ, С2-23, подстроечный СПЗ-3, СПЗ-19, СП5-2. Фототранзистор — ТЕРТ5600, ВРW85В. Транзисторы КТ3107Б можно заменить транзисторами, КТ203Д, КТ209В, КТ209Е, КТ361Б, КТ361Г, КТ361Е. Светодиоды — белого свечения, если они маломощные (на ток 20...30 мА от светодиодных фонарей), их может быть 10...20 шт., а если мощные, например серий КИПД138А или SVL03Р1 — не более двух. Суммарный потребляемый ток не должен превышать 0,5 А. Не забываем про предельный ток транзистора VT4 и его охлаждение (при необходимости).

Ток через светодиоды устанавливают подборкой резистора R5. Для питающего напряжения 5 В и пяти маломощных светодиодов сопротивление этого резистора 10...20 Ом. Для большего числа маломощных или одного-двух мощных сопротивление этого резистора уменьшают до нескольких Ом. В качестве источника питания можно применить стабилизированное зарядное (+5 В) устройство для сотового телефона. Светодиоды можно заменить лампами накаливания на напряжение 6,3 В. В этом случае токоограничивающий резистор не нужен, а напряжение питания следует увеличить до 7,5...8 В.

Дополнительная информация:

[1] И. ЛАВРИНЕНКОВ. "Автоматический светильник для комнатных растений" Радио. - 2014. - № 1

Заключение

Вот и подошла к концу данная книга. Надеюсь, она помогла расширить кругозор в радиотехнике и электронике. Если у читателя возникло желание повторить конструкции или провести свои эксперименты, то можно считать, что задача книги достигнута.

Приложение А. Текст прошивки CW – радиомаяка

```
// Arduino simply CW beacon
// (c) 2012 Max Klimenko
// emaster [at] mail.ru
// Digital pin 13 - Индикатор передачи символа
// Digital pin 12 - Ключевой вывод (Inv (pin 13))
// Длительность одной точки (мс)
// 10 = N/D, 20 = 56 WPM, 30 = 37 WPM, 60 = 20 WPM, 80 = 15 WPM, 120 = 10 WPM
const int point_time = 60;
////////////////////////////////////
struct s_abc
{
    char letter;
    char sign[7];
};
// Алфавит
const s_abc abc[] = {
    'A',".-", 'B',"-.-", 'W',"-.", 'G',"--", 'D',"-.",
    'E',"", 'V',"...", 'Z',"-.", 'I',"..",
    'J',"---", 'K',"--", 'L',"..", 'M',"--", 'N',"-.",
    'O',"---", 'P',"--", 'R',"-.", 'S',"...",
    'T',"", 'U',"..", 'F',"-.", 'H',"....", 'C',"-.",
    'Q',"---", 'Y',"---", 'X',"-.", '1',"---",
    '2',"....", '3',"....", '4',"....", '5',"....",
    '6',"....", '7',"....", '8',"....", '9',"....",
    '0',"....", '!', "....", '!', "....", '!', "....",
    '!', "....", '(', "....", ')', "....",
    '"', "....", '-', "....", '/', "....", '?', "....",
    '!', "....", '@', "....", '\\', "...." };

unsigned char abc_size = sizeof(abc) / sizeof(abc[0]);

void setup ()
{
    // Индикатор погасить, генерацию отключить
    pinMode(12, OUTPUT);
    digitalWrite(12, HIGH); // set TX off
    pinMode(13, OUTPUT);
    digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
}
// Процедура отправки буквы.
void send_letter(char l)
{
    if (l == '.')
    {
        delay(point_time * 7);
        return;
    }
    unsigned char idx = 255;
    for (unsigned char i = 0; i < abc_size; i++)
        if (abc[i].letter == l)
        {
            idx = i;
            break;
        }
    if (idx == 255) return;
    const char *s = abc[idx].sign;
    for (unsigned char c = 0; s[c] != 0; c++)
    {
        char q = s[c];
        digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
        digitalWrite(12, LOW); //set TX on
        if (q == '.') delay(point_time);
    }
}
```

```

else delay(point_time * 3);
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  digitalWrite(12, HIGH); // set TX off
  delay(point_time);
}
delay(point_time * 2);
}

void loop()
// Циклическая процедура
{
// Принудительное отключение генерации
digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
digitalWrite(12, HIGH); // set TX off
// Включение генерации для анализа на 5 секунд
digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
digitalWrite(12, LOW); //set TX on
delay(5000); // Задержка 5000 мс
// Отключение генерации
digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
digitalWrite(12, HIGH); // set TX off
delay(2000); // Пауза 2 секунды
String strMsg = "VVV DE R2AJA R2AJA KO85XT 1W PSE RPRT " ; //Текст сообщения
char msg[155]; // Массив букв для передачи 155 символов
strMsg.toCharArray(msg, 155); // Переход от строки к массиву букв
{
  for (int n = 0; msg[n] != 0; n++)
    send_letter(msg[n]);
}
delay(10000); // Пауза после отправки сообщения 10 секунд
}

```

Приложение Б. Текст прошивки Hellschreiber (Feld Hell) – радиомаяка

```
// Компилировать в версии «Arduino IDE» 1.5!  
// Digital pin 13 - Индикатор передачи символа  
// Digital pin 12 - Ключевой вывод (Inv (pin 13))  
int radioPin = 12 ;  
  
typedef struct glyph {  
    char ch ;  
    word col[7] ;  
} Glyph ;  
// Алфавит  
Glyph glyphtab[] PROGMEM = {  
{' ', {0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{'A', {0x07fc, 0x0e60, 0x0c60, 0x0e60, 0x07fc, 0x0000, 0x0000}},  
{'B', {0x0c0c, 0x0ffc, 0x0ccc, 0x0ccc, 0x0738, 0x0000, 0x0000}},  
{'C', {0x0ffc, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0000, 0x0000}},  
{'D', {0x0c0c, 0x0ffc, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x07f8, 0x0000, 0x0000}},  
{'E', {0x0ffc, 0x0ccc, 0x0ccc, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0000, 0x0000}},  
{'F', {0x0ffc, 0x0cc0, 0x0cc0, 0x0c00, 0x0c00, 0x0000, 0x0000}},  
{'G', {0x0ffc, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0ccc, 0x0cfc, 0x0000, 0x0000}},  
{'H', {0x0ffc, 0x00c0, 0x00c0, 0x00c0, 0x0ffc, 0x0000, 0x0000}},  
{'I', {0x0ffc, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{'J', {0x003c, 0x000c, 0x000c, 0x000c, 0x0ffc, 0x0000, 0x0000}},  
{'K', {0x0ffc, 0x00c0, 0x00e0, 0x0330, 0x0e1c, 0x0000, 0x0000}},  
{'L', {0x0ffc, 0x000c, 0x000c, 0x000c, 0x000c, 0x0000, 0x0000}},  
{'M', {0x0ffc, 0x0600, 0x0300, 0x0600, 0x0ffc, 0x0000, 0x0000}},  
{'N', {0x0ffc, 0x0700, 0x01c0, 0x0070, 0x0ffc, 0x0000, 0x0000}},  
{'O', {0x0ffc, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0ffc, 0x0000, 0x0000}},  
{'P', {0x0c0c, 0x0ffc, 0x0ccc, 0x0cc0, 0x0780, 0x0000, 0x0000}},  
{'Q', {0x0ffc, 0x0c0c, 0x0c3c, 0x0ffc, 0x000f, 0x0000, 0x0000}},  
{'R', {0x0ffc, 0x0cc0, 0x0cc0, 0x0cf0, 0x079c, 0x0000, 0x0000}},  
{'S', {0x078c, 0x0ccc, 0x0ccc, 0x0ccc, 0x0c78, 0x0000, 0x0000}},  
{'T', {0x0c00, 0x0c00, 0x0ffc, 0x0c00, 0x0c00, 0x0000, 0x0000}},  
{'U', {0x0ff8, 0x000c, 0x000c, 0x000c, 0x0ff8, 0x0000, 0x0000}},  
{'V', {0x0ffc, 0x0038, 0x00e0, 0x0380, 0x0e00, 0x0000, 0x0000}},  
{'W', {0x0ff8, 0x000c, 0x00f8, 0x000c, 0x0ff8, 0x0000, 0x0000}},  
{'X', {0x0e1c, 0x0330, 0x01e0, 0x0330, 0x0e1c, 0x0000, 0x0000}},  
{'Y', {0x0e00, 0x0380, 0x00fc, 0x0380, 0x0e00, 0x0000, 0x0000}},  
{'Z', {0x0c1c, 0x0c7c, 0x0ccc, 0x0f8c, 0x0e0c, 0x0000, 0x0000}},  
{'0', {0x07f8, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x0c0c, 0x07f8, 0x0000, 0x0000}},  
{'1', {0x0300, 0x0600, 0x0ffc, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{'2', {0x061c, 0x0c3c, 0x0ccc, 0x078c, 0x000c, 0x0000, 0x0000}},  
{'3', {0x0006, 0x1806, 0x198c, 0x1f98, 0x00f0, 0x0000, 0x0000}},  
{'4', {0x1fe0, 0x0060, 0x0060, 0x0ffc, 0x0060, 0x0000, 0x0000}},  
{'5', {0x000c, 0x000c, 0x1f8c, 0x1998, 0x18f0, 0x0000, 0x0000}},  
{'6', {0x07fc, 0x0c66, 0x18c6, 0x00c6, 0x007c, 0x0000, 0x0000}},  
{'7', {0x181c, 0x1870, 0x19c0, 0x1f00, 0x1c00, 0x0000, 0x0000}},  
{'8', {0x0f3c, 0x19e6, 0x18c6, 0x19e6, 0x0f3c, 0x0000, 0x0000}},  
{'9', {0x0f80, 0x18c6, 0x18cc, 0x1818, 0x0ff0, 0x0000, 0x0000}},  
{'*', {0x018c, 0x0198, 0x0ff0, 0x0198, 0x018c, 0x0000, 0x0000}},  
{'!', {0x001c, 0x001c, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{'?', {0x1800, 0x1800, 0x19ce, 0x1f00, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{'!', {0x1f9c, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{'(', {0x01e0, 0x0738, 0x1c0e, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{')', {0x1c0e, 0x0738, 0x01e0, 0x0000, 0x0000, 0x0000, 0x0000}},  
{'#', {0x0330, 0x0ffc, 0x0330, 0x0ffc, 0x0330, 0x0000, 0x0000}},  
{'$', {0x078c, 0x0ccc, 0x1ffe, 0x0ccc, 0x0c78, 0x0000, 0x0000}},  
{'/', {0x001c, 0x0070, 0x01c0, 0x0700, 0x1c00, 0x0000, 0x0000}},  
};  
  
#define NGLYPHS      (sizeof(glyphtab)/sizeof(glyphtab[0]))
```

```

void
encodechar(int ch)
{
  int i, x, y, fch ;
  word fbits ;

  /* It looks sloppy to continue searching even after you've
   * found the letter you are looking for, but it makes the
   * timing more deterministic, which will make tuning the
   * exact timing a bit simpler.
   */
  for (i=0; i<NGLYPHS; i++) {
    fch = pgm_read_byte(&glyphtab[i].ch) ;
    if (fch == ch) {
      for (x=0; x<7; x++) {
        fbits = pgm_read_word(&(glyphtab[i].col[x])) ;
        for (y=0; y<14; y++) {
          if (fbits & (1<<y))
            { digitalWrite(radioPin, LOW) ; //set TX on
              digitalWrite(13, HIGH); } // set the LED on
          else
            { digitalWrite(radioPin, HIGH) ; //set TX off
              digitalWrite(13, LOW); } // set the LED off

          delayMicroseconds(4045L) ;}
        }
      }
    }
  }

void
encode(char *ch)
{
  while (*ch != '\0')
    encodechar(*ch++) ;
}

void
setup()
{
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(radioPin, OUTPUT) ;
}

void
loop()
{
  // Принудительное отключение генерации
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  digitalWrite(12, HIGH); //set TX off
  // Включение генерации для анализа на 5 секунд
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  digitalWrite(12, LOW); //set TX on
  delay(5000); // Задержка 5000 мс
  // Отключение генерации
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  digitalWrite(12, HIGH); //set TX off
  delay(2000); // Пауза 2 секунды
  // Передача сообщения
  encode("VVV DE R2AJA R2AJA BEACON KO85XT 1W PSE RPRT R2AJA*MAIL.RU") ;
  delay(10000); // Пауза после посылки сообщения 10 секунд
}

```

Приложение В. Текст прошивки радиомаяка в режиме «Опера»

```
// Реализация передачи в режиме Опера 2
// Digital pin 13 - Индикатор передачи символа
// Digital pin 12 - Ключевой вывод (Inv (pin 13)) управление инверсное, 0 = включён, 1 = отключён
char *str =
"01101010100101100101100101101001100110010101101001100110100101011010101001010101010110100
1100101011001101001101010100101100110011010011010100110010110101010100101100101101001100110
100101101001011001100110011001100110101010010101"; // Полученный код для позывного
R2AJA из «Опера v1.6.5» (кнопка PIC) или программы «Опера Generator».
const int opera_time = 512; // мс Опера2
////////////////////////////////////
void setup()
{
  // Индикатор погасить, генерацию отключить
  pinMode(12, OUTPUT);
  digitalWrite(12, HIGH); // set Gen off
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
}
int c = 0; // порядковый номер чтения символа массива Опера
void loop() // Циклическая процедура
{
  c = 0;
  // Включение генерации для анализа на 5 секунд
  digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
  digitalWrite(12, LOW); // set Gen on
  delay(5000); // Пауза 5 секунд
  // Отключение генерации
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  digitalWrite(12, HIGH); // set Gen off
  delay(5000); // Пауза 5 секунд
  //Чтение массива, управление передатчиком и индикацией
  while (str[c]!=0)
  {
    if (((str[c]-0x30) &&1) == 1)
    {
      pinMode(13, OUTPUT);
      digitalWrite(13, HIGH); // set the LED on
      pinMode(12, OUTPUT);
      digitalWrite(12, LOW); // set Gen on
      delay(opera_time);
    }
    else
    {
      pinMode(13, OUTPUT);
      digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
      pinMode(12, OUTPUT);
      digitalWrite(12, HIGH); // set Gen off
      delay(opera_time);
    }
    c++;
  }
  // Отключение генерации
  digitalWrite(13, LOW); // set the LED off
  digitalWrite(12, HIGH); // set Gen off
}
```

Приложение Г. Электронные материалы к книге

Глава	Материал
Глава 1	hellschreiber-beacon – прошивка для маяка в формате Feld Hell. Проверена на версии «Arduino IDE» 1.5
	si5351-beacon – прошивка для WSPR маяка
	simply-cw-beacon – прошивка для телеграфного маяка
	opera-beacon – прошивка для маяка в режиме Opera
	rs22.exe – декодер телеметрии с ИСЗ «Можаяец-4»
	WinMorse2Setup.EXE – программа «WinMorse» 2
	Плата_генератора_SO.lay6 Плата_усилитель_два-такта.lay Плата_Фильтра.lay Плата-УМ-BS170.lay Рисунки печатных плат генератора на 74HC240, двухтактного усилителя, одностранзисторного усилителя и фильтра для программы «Sprint-Layout 6.0»
Глава 2	ZetaSDR.lay6 ZetaSDR-DIP.lay6 Рисунки печатных плат приёмника ZetaSDR (варианты с корпусом DIP-8 и SO-8 микросхемы аудиоусилителя)
Глава 3	LW14--r2aja.maa – модель MMANA-GAL антенны Луч MAGLOOP2-trans-900mm-(20-40M).MAA - модель MMANA-GAL антенны магнитная рамка с трансформаторной связью. InvV20-r2aja.maa – модель MMANA-GAL антенны Inverted-V на 20M myvert-20m+c-r2aja.maa – модель MMANA-GAL антенны удлинённый «GP» на 20M с двумя противовесами vp2e20m-ev6dx.maa – модель MMANA-GAL антенны «VP2E» на 20M с питанием в конец через СУ. 2EL20-only-5M-r2aja.MAA – модель MMANA-GAL антенны Yagi 2 el 20M 2EL20-only-4M-izgib-dmtrub-opt+tra-r2aja.MAA – модель MMANA-GAL антенны Yagi 2 el с учетом траверсы и изгиба трубок. 2EL20-only-5M-Два-диапазона-r2aja.MAA – модель MMANA-GAL антенны Yagi 2 el 20M + 15M 435_Турникет_3x3_r2aja.maa – модель MMANA-GAL антенны круговой поляризации на диапазон 70 см.
Глава 4	ISUS-scheme-splan.spl – принципиальная схема автоматического светильника Metaldetect-3-tr-r2aja.spl – принципиальная схема трёхтранзисторного металлоискателя.