

Диплексер

Содержание

Введение.....	2
1. Результат.....	2
2. Схема и конструкция диплексера 5-го порядка.....	4
3. Измерения.....	6
4. Диплексеры 6-го и 7-го порядка.....	14
4.1 Диплексер 6-го порядка.....	14
4.2 Диплексер 7-го порядка.....	15
5 Сравнение диплексеров.....	16
6. Конфигурация рабочего места.....	17
Заключение.....	18
Полезные ссылки.....	18

Введение.

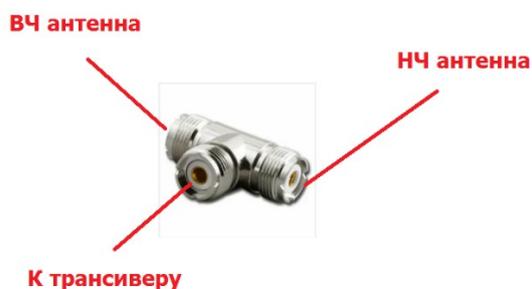
В своей статье [«Применение традиционного трансивера совместно с журналом 5MContest, программой SDC, приемниками Colibri и Afedri»](#) я отмечал следующее:

«При использовании двухканального приемника ColibriDDC выяснилась одна неприятная особенность. И она не зависит от конструкции самого приемника. Одно дело, когда вы используете одну всдиапазонную антенну. В этом случае при приеме одним приемником на одном диапазоне, а другим на другом, особой разницы в уровнях принимаемых сигналов не будет замечаться.

И совсем другое дело, если вы подключите, допустим, трайбендер для работы одним приемником на ВЧ-диапазонах, а вторым приемником будете принимать на НЧ диапазонах.

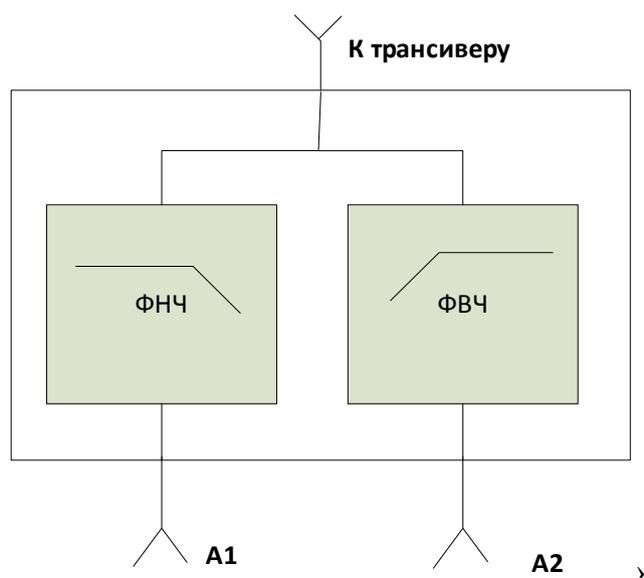
В этом случае на приемнике ВЧ-диапазона вы будете слышать очень хорошо, а сигналы НЧ диапазона будут слышны плохо. Причина: на НЧ диапазонах высокочастотный трайбендер не является резонансной антенной. Аналогично получится, если принимать на НЧ антенну низкочастотные сигналы и на нее же высокочастотные сигналы.

Чтобы избежать такой ситуации необходимо на вход приемников подать смесь сигналов НЧ и ВЧ. Простейший способ — это подать сигналы от резонансных антенн через высокочастотный тройник, как это сделал RM5F.



Есть и другие способы подключения антенн, описанные на форумах.

В частности, UT4LW использует диплексер, который представляет собой комбинацию фильтров низкой и высокой частоты.



1. Результат

После долгих поисков я нашел необходимый учебный материал на различных сайтах. Попытка приобрести готовое устройство не увенчалась успехом. В результате был

изготовлен диплексер самостоятельно. Я опробовал его работу в тесте ОК-ОМ DX CW Contest 13-14 ноября 2021 года. Провел 303 связи и обогнал себя прошлогоднего.

Статистика соревнования		Статистика мн...																																	
Всего QSO	303	Время в работе	07:36																																
Повторных QSO	0	Отдых	14:37																																
Очков за QSO	303	Разные позывные	186																																
Очки за посл. QSO	0	QSO за час	0																																
Сумма множителей	217	QSO за 10 минут	0																																
Итог теста	65751	QSO за 5 минут	0																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>160</th> <th>80</th> <th>40</th> <th>20</th> <th>15</th> <th>10</th> <th>Σ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CW</td> <td>0</td> <td>28</td> <td>73</td> <td>158</td> <td>44</td> <td>0</td> <td>303</td> </tr> </tbody> </table>			160	80	40	20	15	10	Σ	CW	0	28	73	158	44	0	303	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ОК-ОМ Prov.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>160</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Σ</td> <td>217</td> </tr> </tbody> </table>		ОК-ОМ Prov.		160	0	80	25	40	59	20	95	15	38	10	0	Σ	217
	160	80	40	20	15	10	Σ																												
CW	0	28	73	158	44	0	303																												
ОК-ОМ Prov.																																			
160	0																																		
80	25																																		
40	59																																		
20	95																																		
15	38																																		
10	0																																		
Σ	217																																		
Список множителей		Обновить результаты																																	

20-21 ноября продолжил испытания в LZ DX Contest.

При работе использовался трансивер FT-450D (100 Вт) и антенны: на ВЧ-диапазонах 3-х диапазонная 2-х элементная антенна с активным питанием, проволочная наклонная ЯГИ на 20 м; на НЧ – W3DZZ.

Использование диплексера и сравнение работы без него обычным способом показала:

1. При приеме:

- Ослабления сигналов не замечено.
- При приеме сигналов на НЧ и ВЧ диапазонах уровни сигналов стали такими, какими они должны быть при приеме на отдельные антенны.
- Количество спотов увеличилось за счет того, что подросли уровни сигналов.



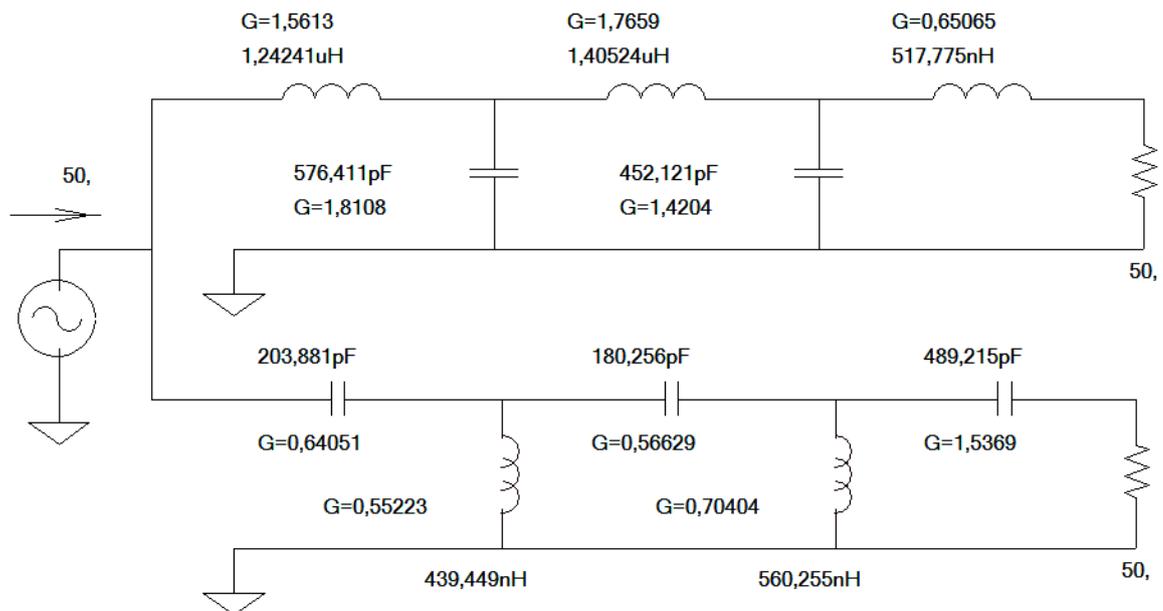
2. При передаче:

- При работе на ВЧ или НЧ диапазонах происходит разделение сигналов на свои антенны. Проверил, грубо подставляя неоновую лампочку. Если на НЧ антенне лампочка горит ярким светом, то на ВЧ антенне лампочка не реагирует и наоборот. При этом интенсивность свечения лампочки на выходе трансивера и входе одной из антенн (рабочей в данный момент) практически неизменна. Конечно же, это субъективная оценка и желательно измерить входные и выходные мощности на эквивалентах.
- Потери излучаемой мощности не заметил, т.к. корреспонденты отвечали, как и обычно для расстояний до 2000 км. Но эта потеря должна быть, хотя и небольшая.
- Согласование с антеннами. Встроенный КСВ-метр трансивера показал небольшое рассогласование, которое было очень несущественным на частотах выше 7 МГц. На 3.5 МГц пришлось включить тюнер (Но и реально на этом диапазоне антенна настроена плохо, т.к. на крыше нет места для удлинения концов).

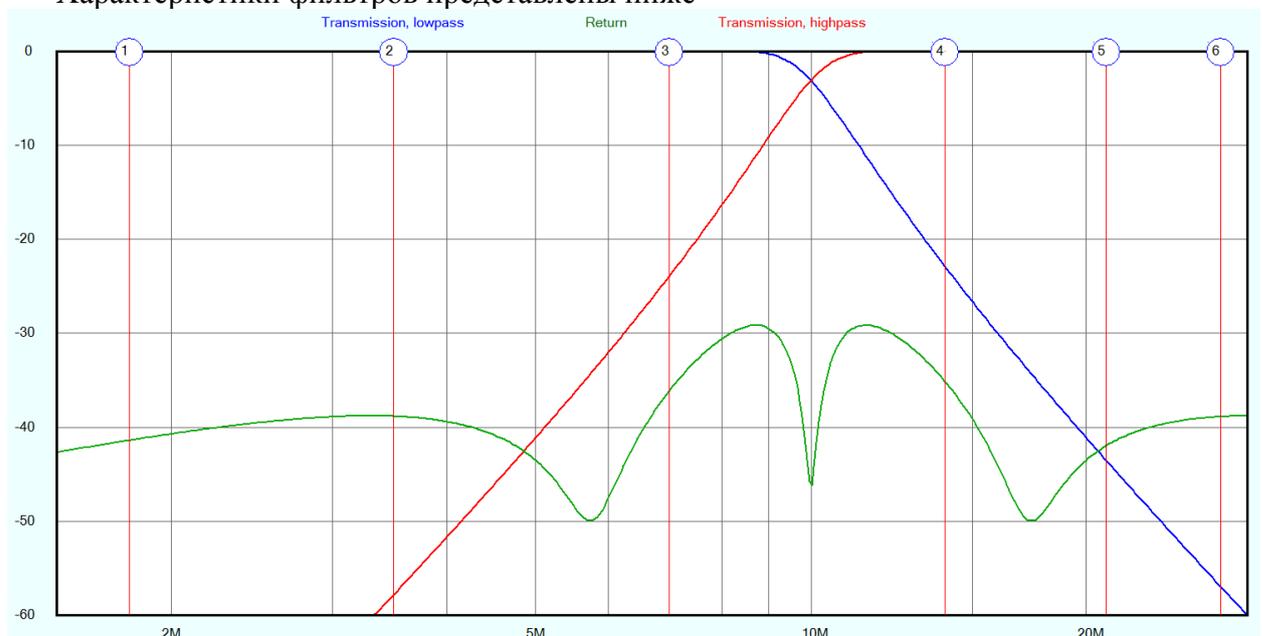
- Элементы конструкции не нагревались даже при длительной работе на общий вызов.
3. Сам диплексер находился на открытой плате, а не в экранированном корпусе.

2. Схема и конструкция диплексера 5-го порядка

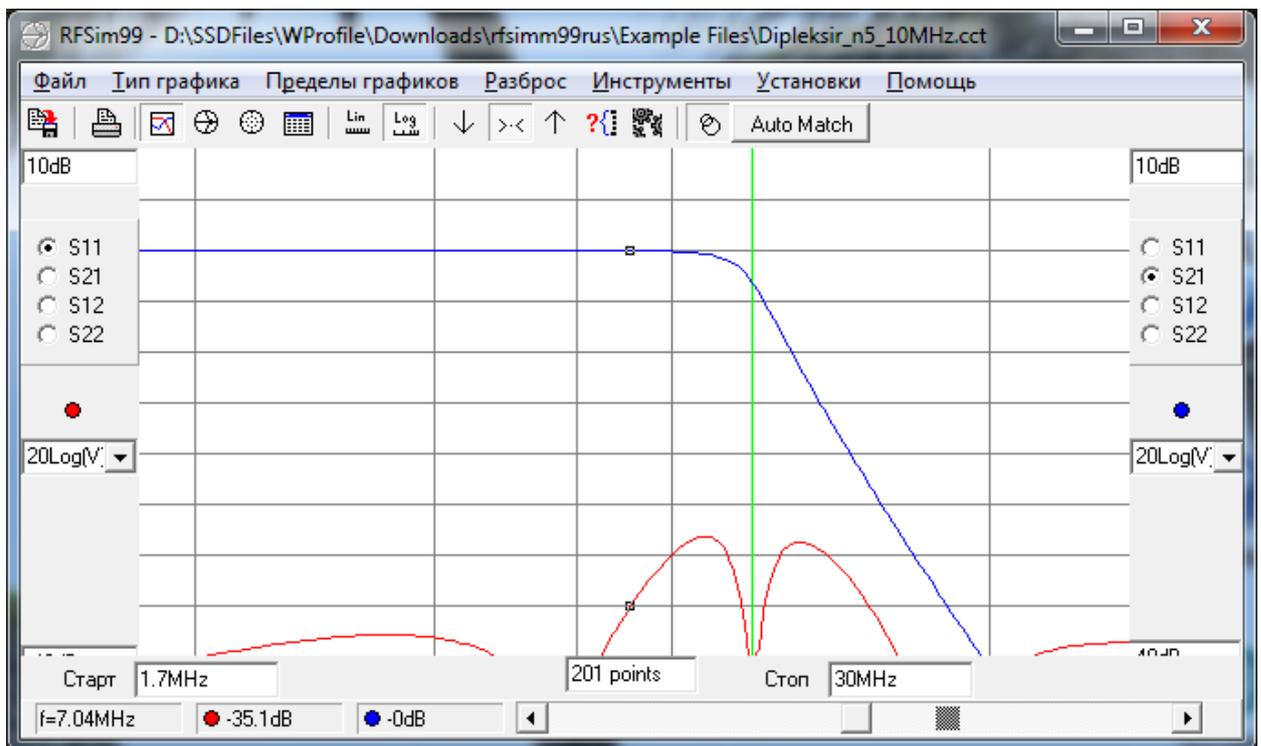
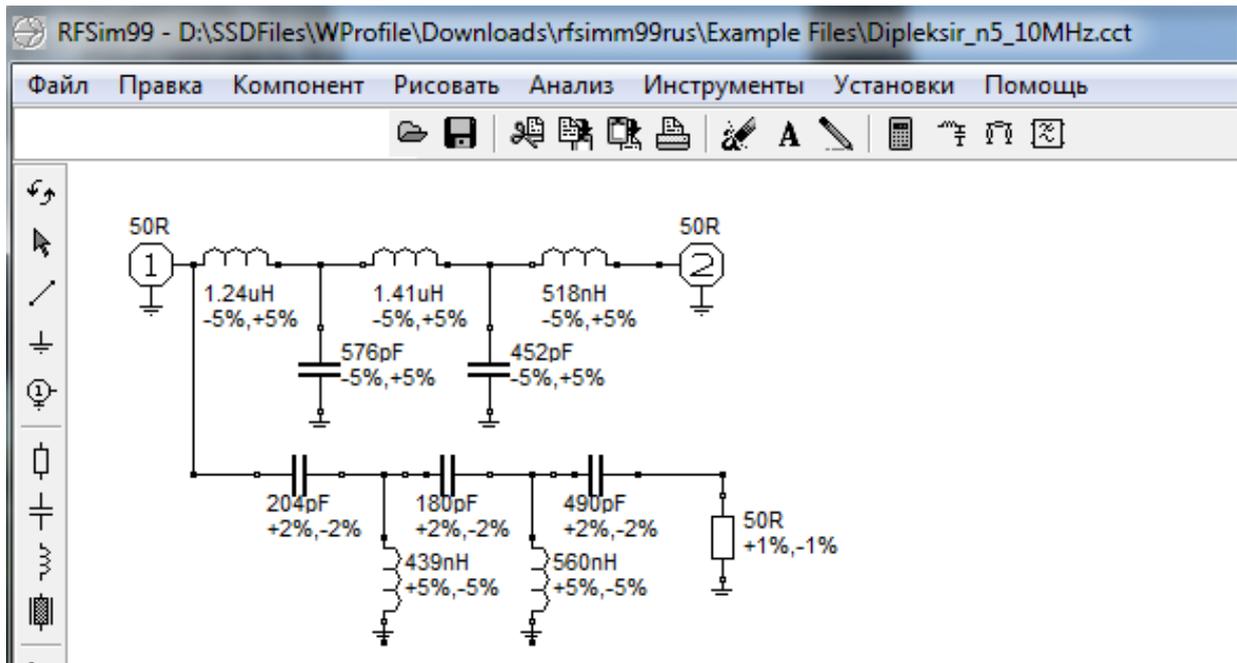
Схема устройства рассчитана в программе [DiplexerDesign](#) версии 2.14. Были выбраны фильтры 5-го порядка с частотой среза 10 МГц.



Характеристики фильтров представлены ниже



Затем схема была перенесена в программу RFSim99 и работа устройства была проверена в этой программе.



Результаты идентичны.

Работа с элементами схемы показала, что изменение значений индуктивностей и емкостей очень сильно влияет на параметры и необходимо как можно точнее выдерживать номиналы элементов.

Просмотр готовых фильтров показал, что многие изготовители в качестве индуктивностей применяют индуктивности, выполненные на ферритовых кольцах фирмы Amidon. Для этого фильтра хорошо подойдут кольца Т-50-2 красного цвета, имеющие магнитную проницаемость = 10, внешний диаметр 12.7 мм, внутренний 7.7 мм, высота 4.83 мм. У меня таких колец не оказалось. Имелись в наличии 2 кольца марки 50ВЧ (16/8/6 мм) и несколько колец 50ВЧ 20/10/5 мм. Попытка сделать индуктивности на них ни к чему хорошему не привела. Расчетное количество витков оказалось не целым значением.

Например, индуктивность 1.41 мкГн должна иметь 6.38 витков провода. Намотаешь 7 витков индуктивность становится значительно больше необходимой. 5 витков – меньше. Подгон сжиманием или разжиманием витков к нужному результату не приводит. Удалось изготовить только одну индуктивность 560 нГн на кольце 50ВЧ 16/8/6 мм. Действительно, нужны кольца с малой магнитной проницаемостью.

Я решил сделать индуктивности обычным способом на оправках из отрезка сантехнической полипропиленовой трубы, армированной стекловолокном (ни в коем случае не алюминием!) диаметром 20.5 мм. Расчет индуктивностей выполнялся в программе Coil32/Coil64. А подгонку индуктивностей и подбор емкостей выполнял с помощью антенного анализатора АА-30.

На трубке сделал небольшие пропилы с шагом 2 мм, а затем мотал проводом 0.8 мм и подгонял катушки, т.к. расчетные значения иногда не совпадали на $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{4}$ витка. Мотать катушки надо как можно туже. Точный подгон индуктивностей выполнял путем небольшого сжатия/растягивания витков.



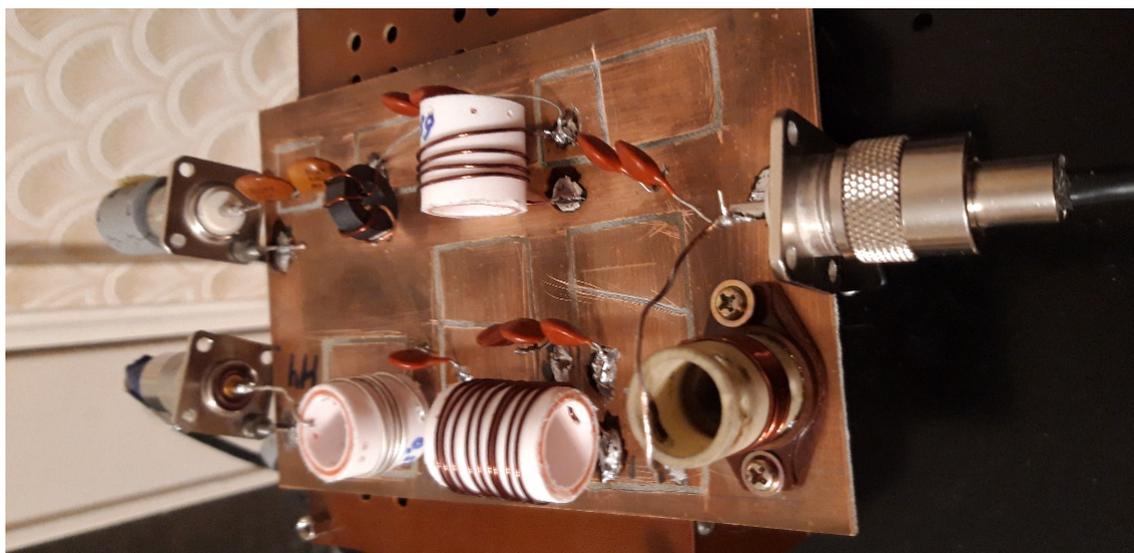
Таблица. Расчетное количество витков

Номинал	Д=20.5 мм	T-50-2 ($\mu=10$)
1,24 мкГн	8,572	16,088
1,41 мкГн	9,416	17,156
518 нГн	4,608	10,398
439 нГн	4,117	9,573
560 нГн	4,870	10,812

Если мотать проводом $D=1$ мм, то добротность катушек будет выше.

Емкости подбирал из имеющихся высоковольтных конденсаторов типа К15 на 1000-3000 В с последовательным и параллельным включением. Эти емкости имеют довольно большой разброс номиналов от указанных. Поэтому, например, из указанного номинала 470 пФ можно найти 452 пФ. Диплексир выдерживает 100 Вт.

Конструкция выполнена на стеклотекстолитовой пластине 100x150 мм. Попутно шло и конструирование устройства. В случае применения индуктивностей на кольцах размер платы может быть уменьшен раза в 2.



3. Измерения

Практические измерения моих антенн вместе с диплексером проводились 15.11.2021 в очень плохую погоду с мокрым снегом и температурой около нуля градусов. Резонансы

W3DZZ и так не были хорошими, а тут еще «съехали» к 3.6 и 7.2 МГц. КСВ Яги на 14 МГц был 1.2, стал 1.8. Активные сопротивления антенн так же не равны 50 Ом. Следует иметь в виду, что расчетные значения выполнены для идеальных портов в 50 Ом. Практически параметры антенн другие.

Таблица
КСВ и возвратные потери

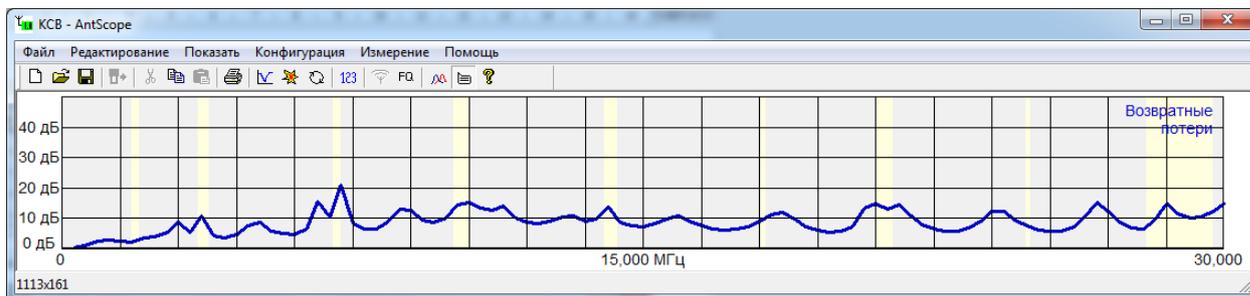
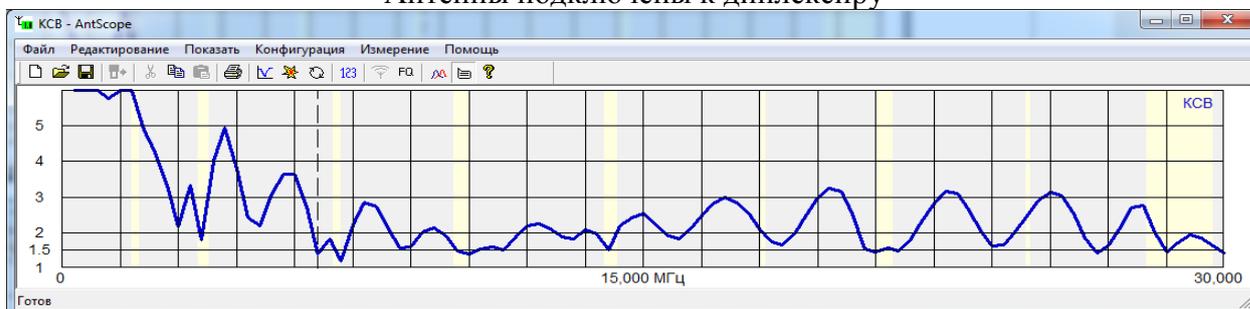
Диапазон	Диплексир		W3DZZ		ЯГИ	
	КСВ	Возвратн	КСВ	Возвратн	КСВ	Возвратн
3.5	2.97	6.1	3.12	5.8		
7	1.6	13	1.65	12.2		
10	1.48	14.3	1.53	13.6		
14	1.29	17.8	3.25	5.5	1.82	10.74
21	1.48	14.25			1.11	25.8
28	2.5	7.3			1.87	10.4

Примечание. Значения приведены для телеграфного участка.

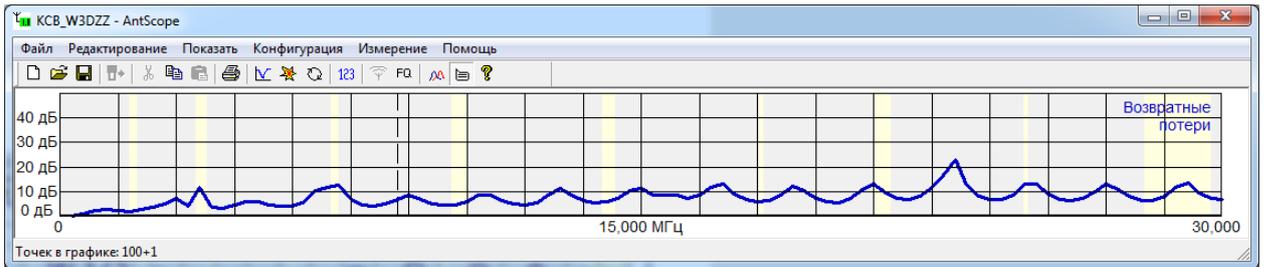
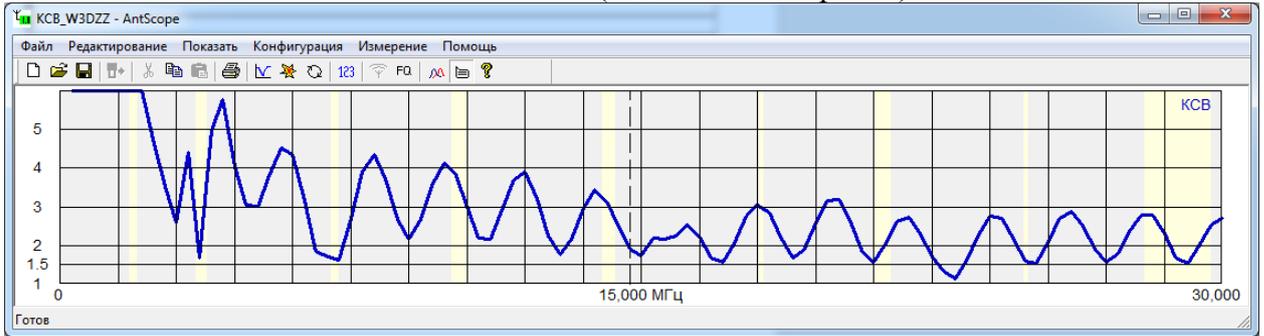
Из таблицы и графиках ниже видно, что диплексир не внес значительных изменений в согласование с антеннами. При этом надо подчеркнуть, что сами по себе антенны необходимо настраивать как можно точнее по минимуму КСВ.

Резонансы моих антенн довольно острые. Это обусловлено тем, что обе антенны траповые.

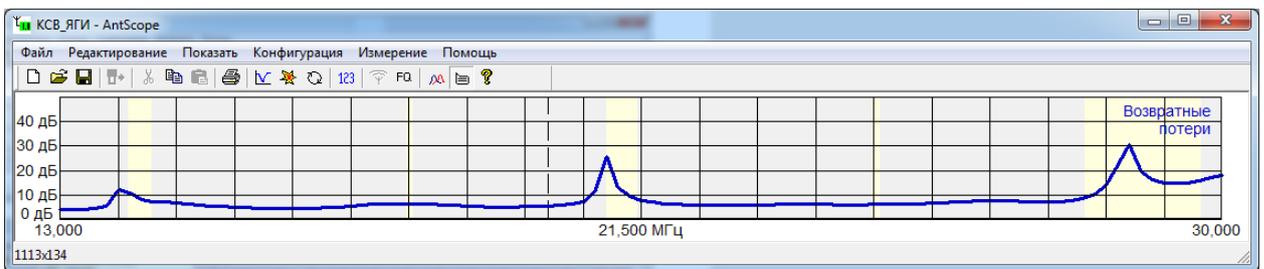
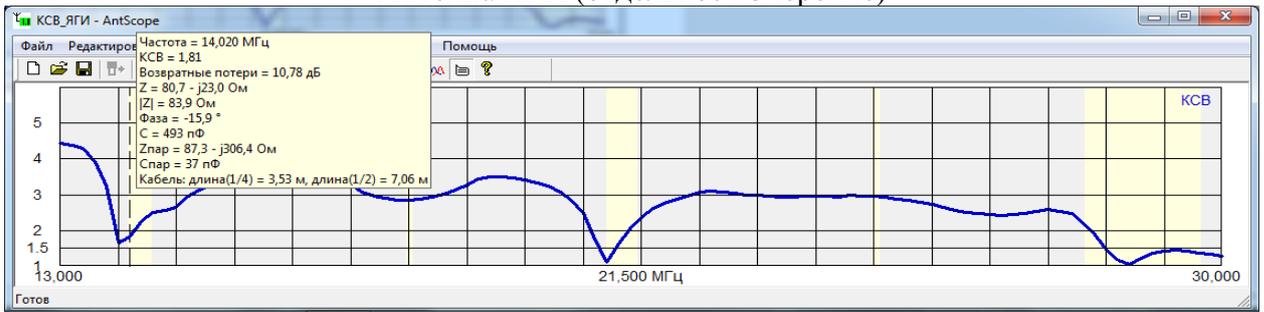
Антенны подключены к диплексору



Антенна W3DZZ (отдельное измерение)

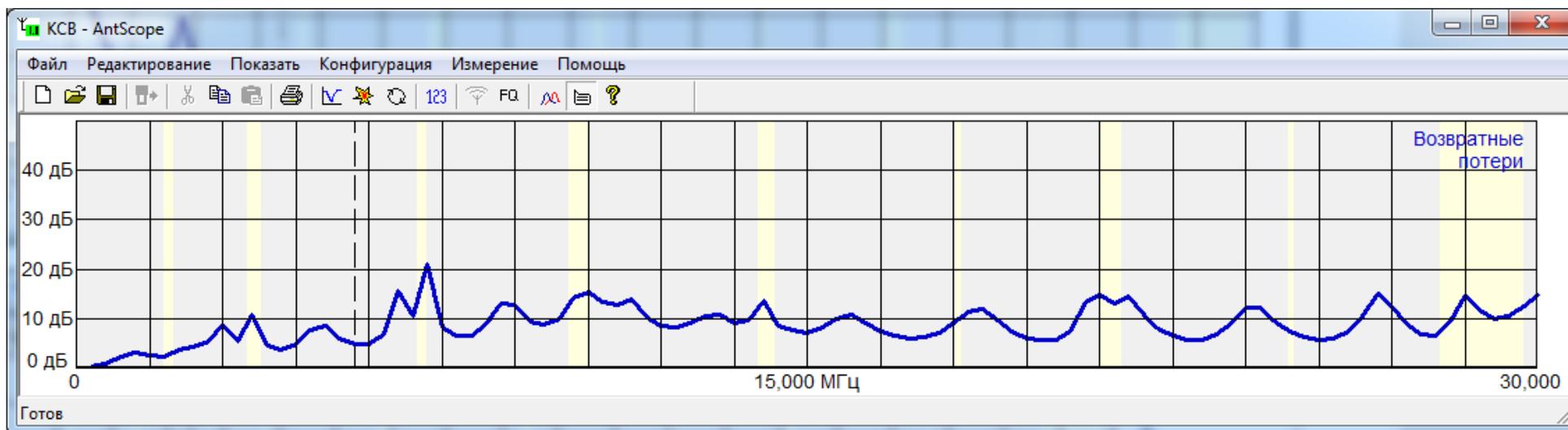
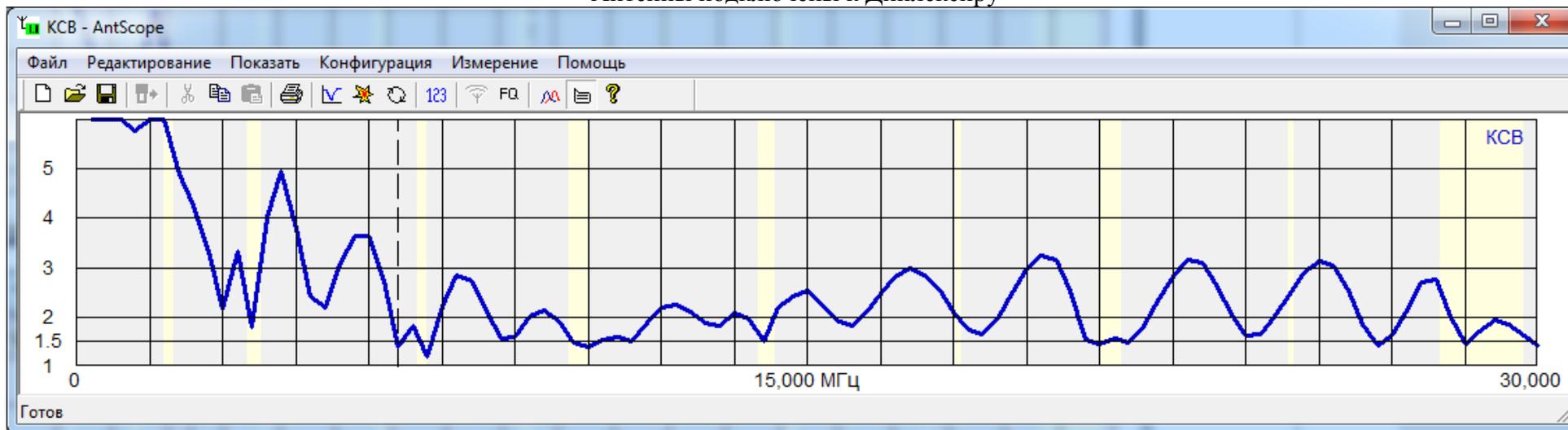


Антенна ЯГИ (отдельное измерение)

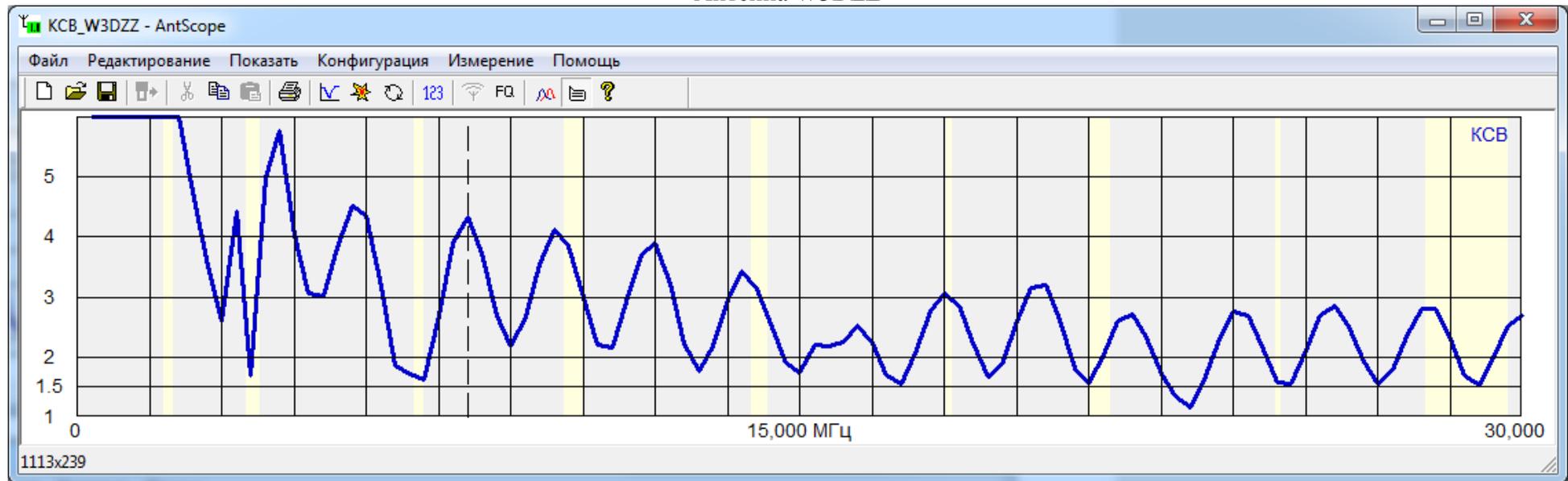


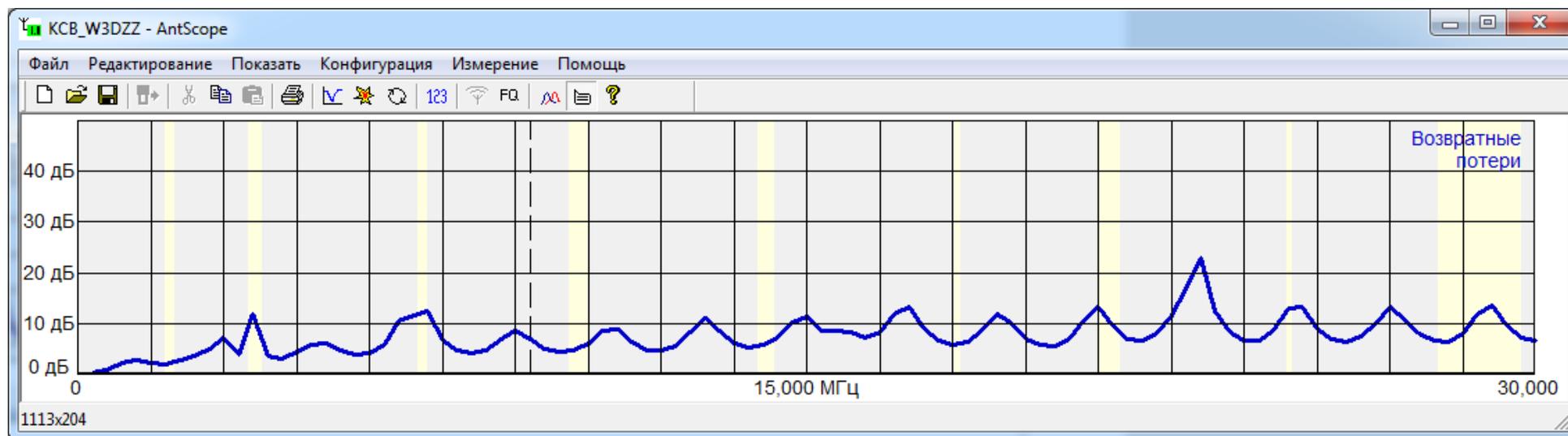
Далее показаны укрупненные графики.

Антенны подключены к Диплексиру

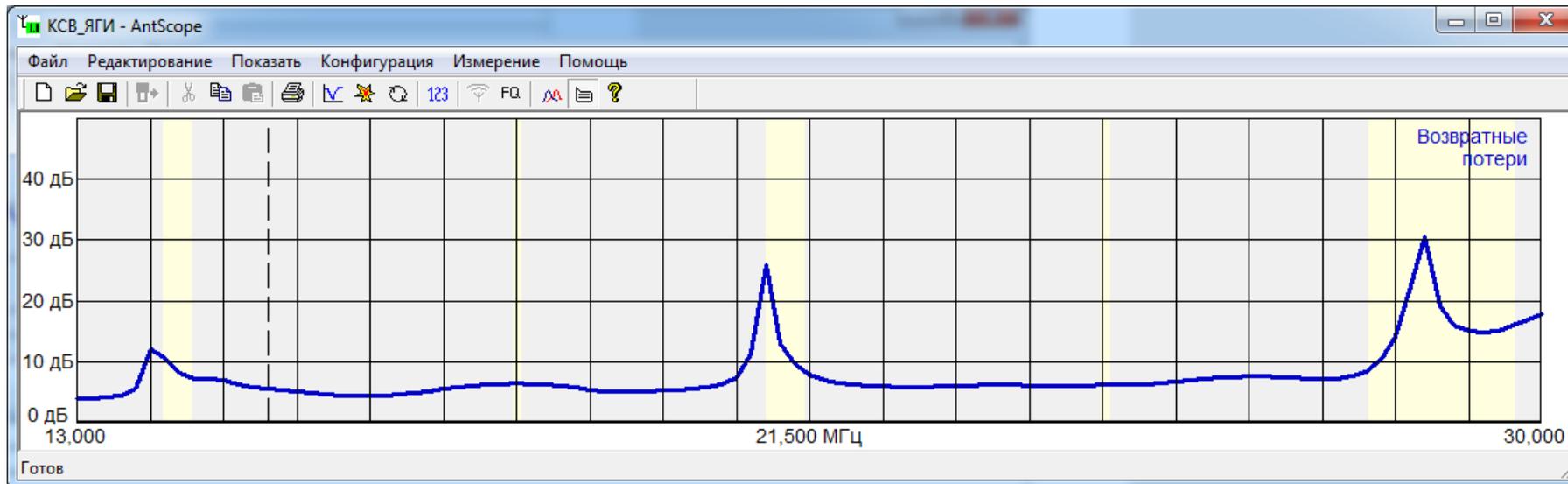
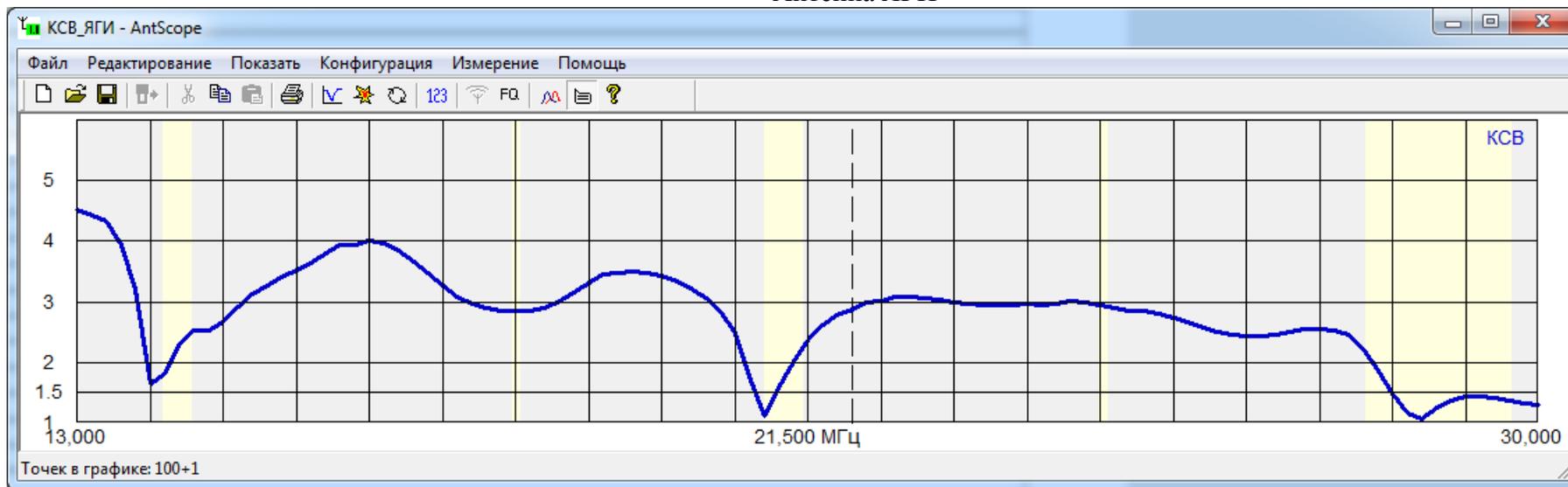


Антенна W3DZZ

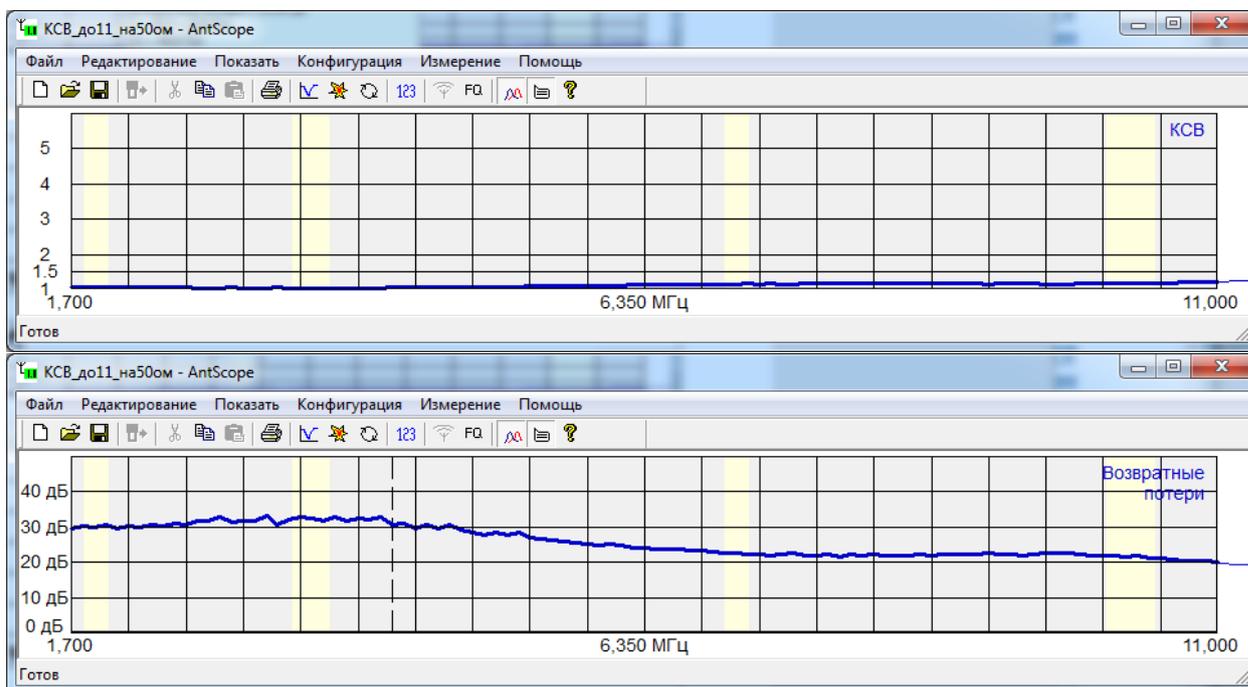




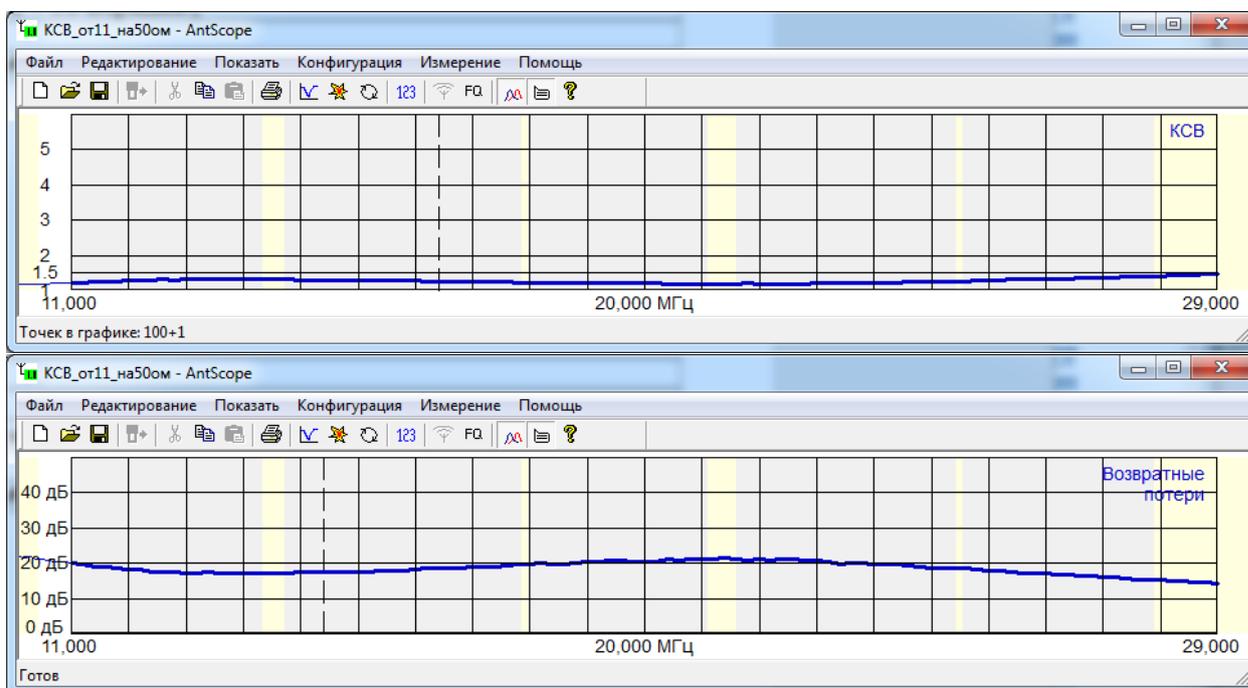
Антенна ЯГИ



А теперь давайте посмотрим на характеристики диплексера при подключении к нему идеальной нагрузки в 50 Ом. Для большей наглядности графики разбиты на 2 диапазона: 1700-11000 кГц и 11000-29000 кГц. По идее, этот раздел надо бы поместить выше. Но так уж получилось, что я излагаю в том порядке, в каком все это выполнял.



Максимальные КСВ на 1.8 МГц – 1.07, 3.5 – 1.05, 7 – 1.16, 10 – 1.19

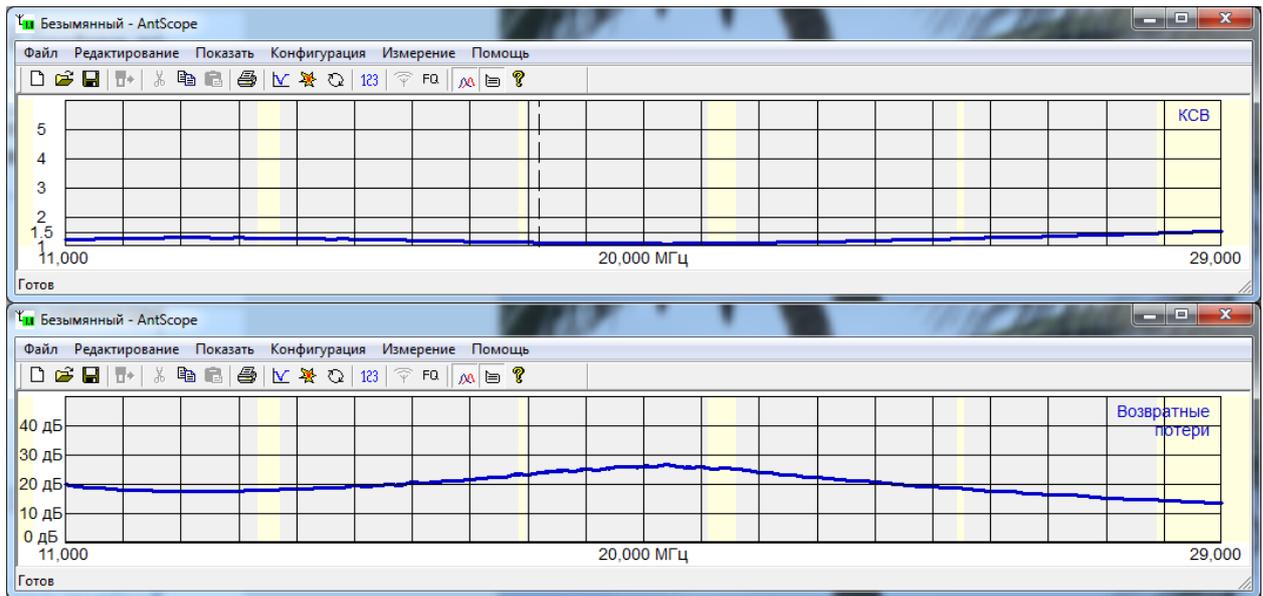


Максимальные КСВ на 14 МГц – 1.33, 21 – 1.2, 28 – 1.47

Активные сопротивления везде практически 50 Ом, а реактивные около 0 (графики не приводятся).

Получается, что фильтр ВЧ по КСВ несколько хуже ФНЧ. Чем это обусловлено сказать не могу. Может надо порядок фильтра повысить, может как-то влияют параметры индуктивностей и емкостей. Надеюсь получить ответ от читателей статьи.

Через сутки после написания вышеприведенного была заменена в фильтре ВЧ индуктивность на кольце М50ВЧ на индуктивность, выполненную на катушке.



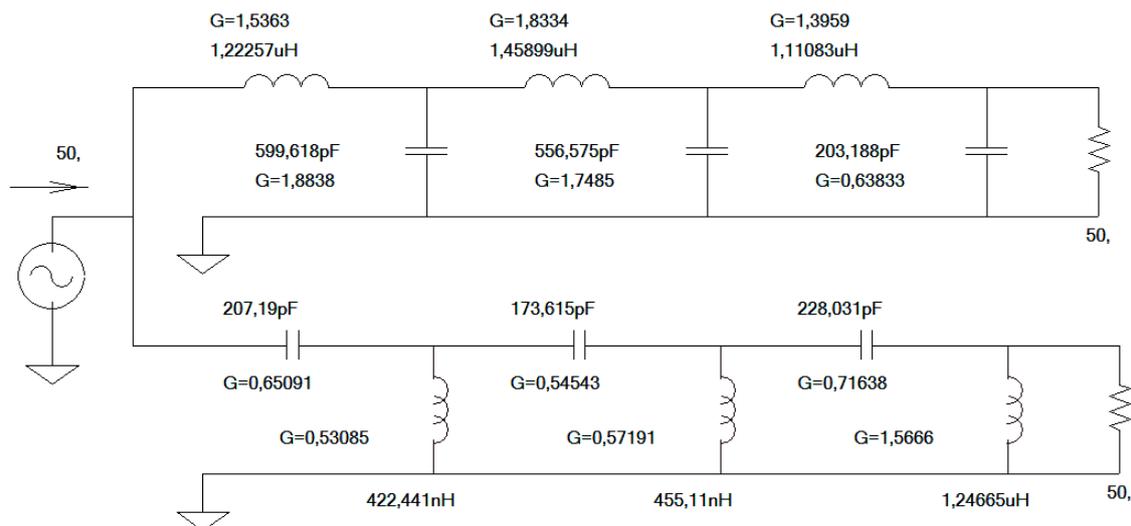
При этом незначительно уменьшилось КСВ и увеличились возвратные потери. Максимальные КСВ на 14 МГц – 1.29 (1.33), 21 – 1.11 (1.2), 28 – 1.46 (1.47).

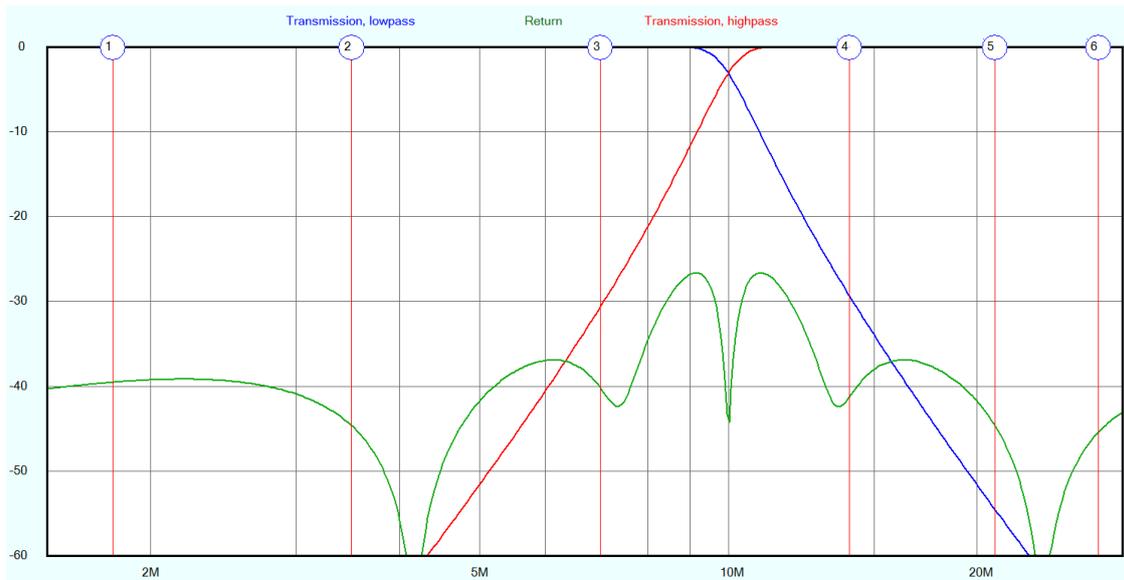
Это еще раз говорит о том, что к подбору номиналов индуктивностей и емкостей надо подходить как можно более тщательнее.

4. Диплексеры 6-го и 7-го порядка

4.1 Диплексер 6-го порядка

Ниже приводятся схемы диплексеров более высокого порядка.

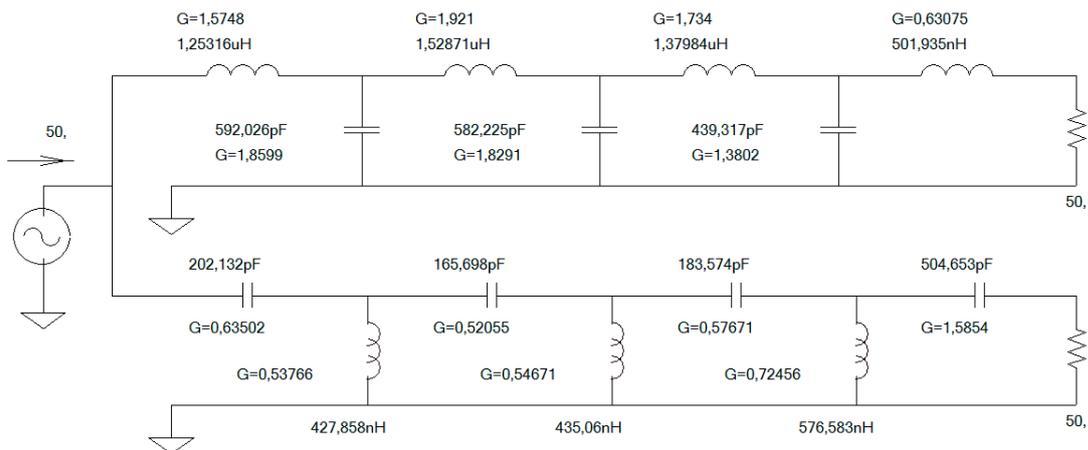


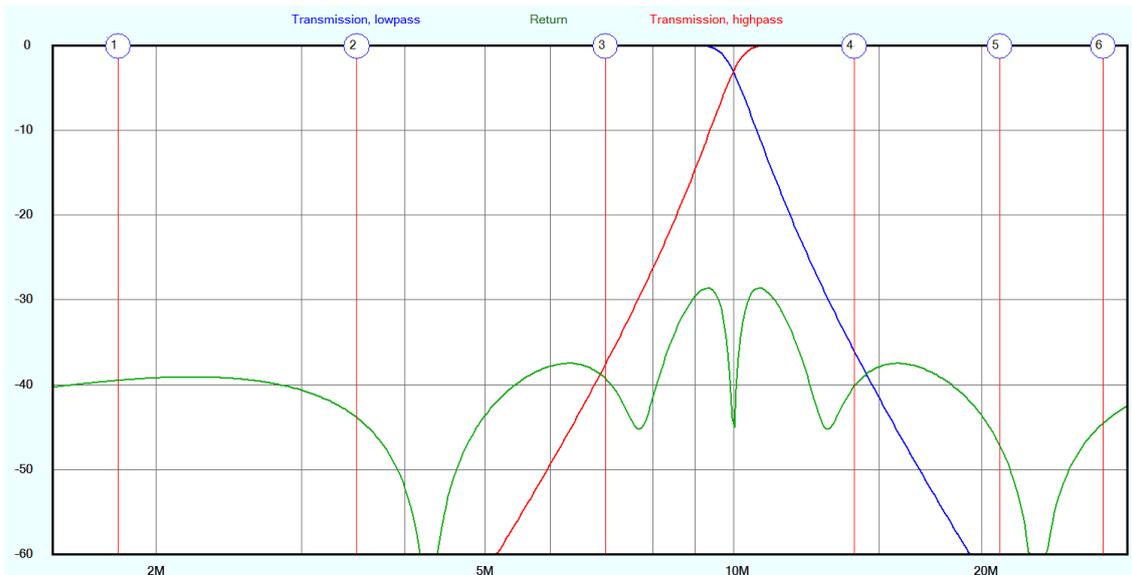


Моточные данные

Номинал	Д=20.5 мм	Т-50-2 (μ=10)
1,22 мкГн	8,4	15,9
1,45 мкГн	9,6	17,4
1,11 мкГн	7,9	15,2
530 нГн	4,7	10,5
572 нГн	4,9	10,9
1,57 мкГн	10,2	18,1

4.2 Диплексер 7-го порядка



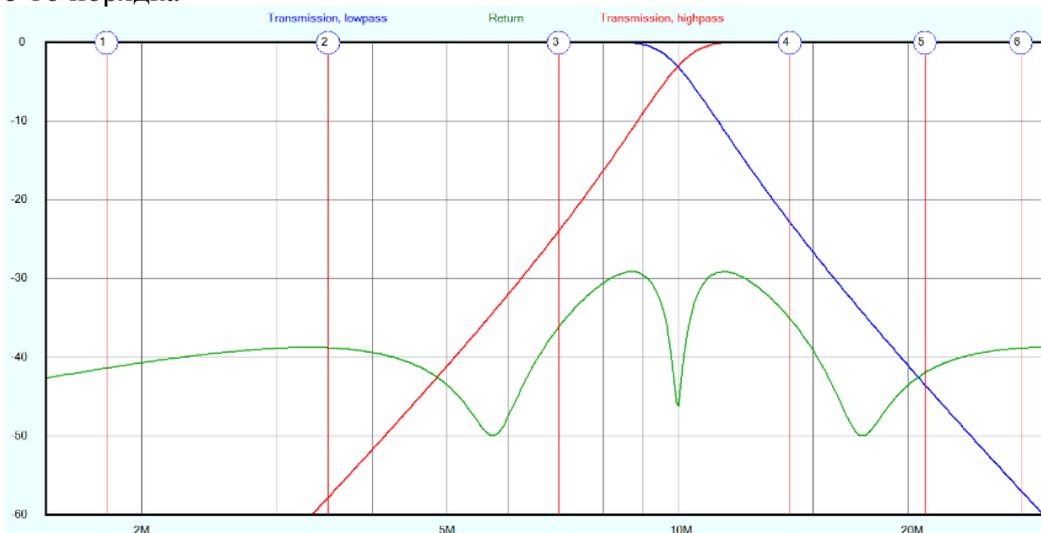


Моточные данные

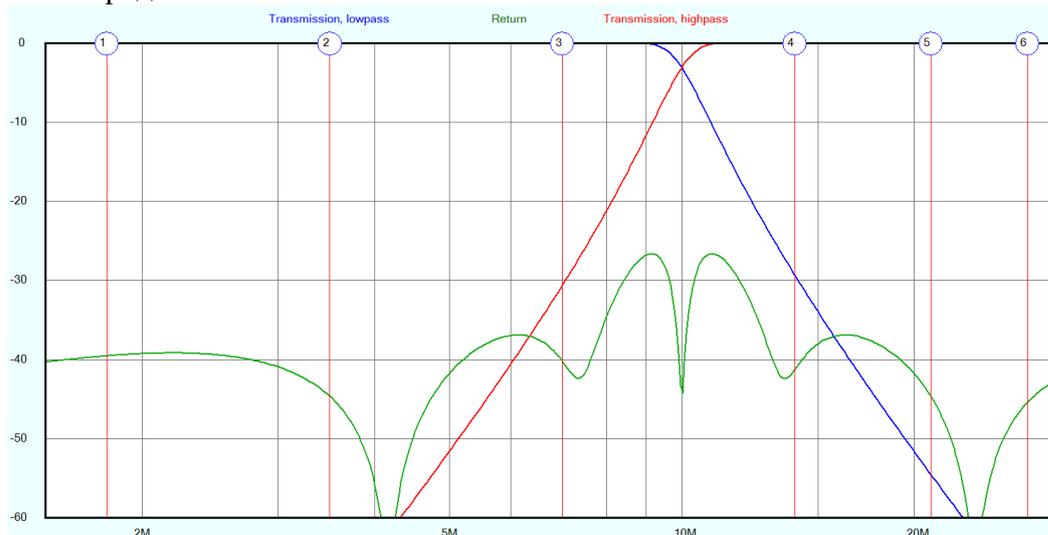
Номинал	Д=20.5 мм	Т-50-2 ($\mu=10$)
1,25 мкГн	8,6	16,2
1,53 мкГн	10	17,9
1,38 мкГн	9,24	16,97
502 нГн	4,5	15
428 нГн	4	9,5
435 нГн	4,1	9,53
577 нГн	4,96	10,98

5 Сравнение диплексеров

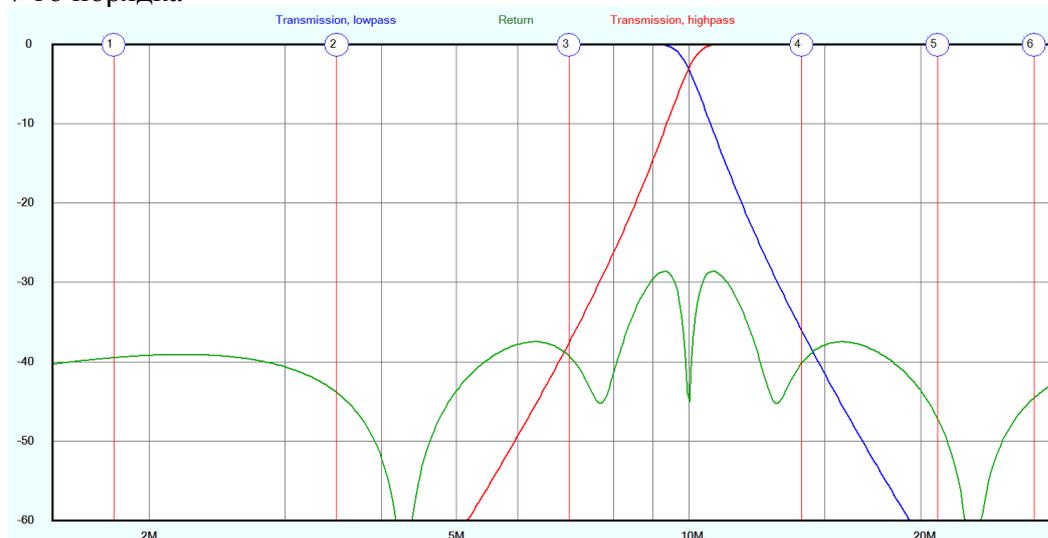
5-го порядка



6-го порядка



7-го порядка



Из графиков видно, что с увеличением порядка фильтров увеличивается крутизна среза и несколько уменьшается КСВ.

6. Конфигурация рабочего места

На ВЧ-диапазоны я подключил к диплексеру дополнительную антенну: наклонную проволочную ЯГИ на 20 метров, направленную на восток. Подключение выполнено через автоматизированный [антенный коммутатор](#) конструкции Юрия Лебединского (UA3VLO) управляемый от журнала 5MContest. Применение подобного коммутатора решает проблему для тех, у кого несколько направленных антенн. Думаю, что подобным образом можно подключать и несколько НЧ антенн.

Ниже приведена укрупненная блок-схема организации рабочего места.



Заключение.

Применение диплексера с антеннами ВЧ и НЧ может пригодится не только владельцам SDR приемников и трансиверов, но и при работе с обычным трансивером. Ведь при этом в значительной мере отпадает необходимость в антенном коммутаторе.

Пока остановился на диплексере 5-го порядка. Изготовленный мной диплексер конструировался только с применением антенного анализатора. Отмечу, что самое трудное, на мой взгляд, это был подбор номиналов емкостей. Общие трудозатраты при изготовлении небольшие.

Конечно же, можно было коротко описать конструкцию и некоторые измерения и не вникать в подробности. Но специально описал всю эпопею изготовления.

Очень хочется, чтобы подобную конструкцию повторили радиолюбители, которые имеют нормальные измерительные приборы. Я буду благодарен всем, кто может либо дополнить, либо подсказать способ улучшения конструкции, а также более эффективного применения антенн.

Полезные ссылки.

- Пересчет возвратных потерь в К.С.В. <http://www.cbplus.ru/soft/vpvksv.htm>
- Программы для расчета фильтров, диплексеров <http://www.tonnesoftware.com/index.html>
- RFSim99 на русском <http://dl2kq.de/soft/6-1.htm>
- Программа расчета индуктивности катушек <https://coil32.ru/download.html>
- Маломощный ВЧ триплексор - проекты VA6AM <https://va6am.com/2017/01/25/first-blog-post/>
- Диплексер (ФНЧ+ФВЧ) <https://ve3kf.build2.ru/viewtopic.php?id=248>
- Dipler Filter W7ZOI <http://www.cqham.ru/diplex8.htm>
- VK1SV duplexer calculator <https://people.physics.anu.edu.au/~dxt103/calculators/duplexer2.php>
- Расчет дуплексных фильтров - HAMforum.ru <http://hamforum.ru/viewtopic.php?f=5&t=709>

- Симуляция электрических цепей в LTspice. Записки программиста <https://eax.me/ltspace/>
- Рассчитываем, моделируем и паяем диплексер. Записки программиста <https://eax.me/diy-diplexer/>
- Автоматизированный расчет пассивных LC-фильтров <https://radioprogram.ru/calculator/8>
- Сайт UT3MK для начинающих SDR конструкторов <https://ut3mk.at.ua/forum/3-23-1>
- Полезные программы. FilterPro. | Старый радиолюбитель | Яндекс Дзен https://zen.yandex.ru/media/id/5e6240ac82f9de0b040577a1/poleznye-programmy-filterpro-5ed3c58ad85eff2ac10d2307?utm_source=serp
- Программы | Радиотехнические расчеты страница 3 https://www.radioradar.net/programms/radioengineering_calculations/index.html?page=3
- Онлайн расчёт многозвенных LC - фильтров. Калькулятор ПФ, ФВЧ, ФНЧ 3-го, 5-го и 7-го порядков. https://vpyaem.ru/information6_1.html

Далее пару статей из интернета.

Расчет и связь между КСВ, коэффициентом отражения и возвратными потерями

Возвратные потери, коэффициент отражения и коэффициент стоячей волны служат для оценки согласованности/совпадения комплексных сопротивлений (электрических импедансов) источника, нагрузки и линии передачи. Рассмотрим физический смысл данных параметров и их взаимосвязь.

Определения

Возвратные потери (обратные потери, return loss) – это потери мощности в сигнале, возвращенном/отраженном от неоднородности в линии передачи или оптоволокне. Данная величина, как правило, выражается в децибелах (дБ):

$$RL_{дБ} = 10 \log_{10} P_{пад} / P_{отр}$$

где

- $RL_{дБ}$ – возвратные потери в децибелах;
- $P_{пад}$ – падающая мощность;
- $P_{отр}$ – отраженная мощность.

Коэффициент отражения по напряжению, Γ – отношение комплексных амплитуд напряжений отраженной и падающей волн.

$$\Gamma = U_{отр} / U_{пад}$$

Коэффициент отражения определяется комплексными сопротивлениями нагрузки $Z_{нагр}$ и источника $Z_{ист}$:

$$\Gamma = \frac{Z_{нагр} - Z_{ист}}{Z_{нагр} + Z_{ист}}$$

Обратите внимание, что отрицательный коэффициент отражения означает, что отраженная волна сдвигается по фазе на 180° .

Коэффициент стоячей волны (КСВ, КСВН, коэффициент стоячей волны по напряжению, SWR, VSWR) – отношение наибольшего значения амплитуды напряжения стоячей волны к наименьшему.

$$КСВ = \frac{U_{ст.волн.маx}}{U_{ст.волн.миn}}$$

Поскольку неравномерность распределения амплитуды стоячей волны вдоль линии обусловлена интерференцией («сложением и вычитанием») падающей и отраженной волн, то наибольшее значение амплитуды $U_{ст.волн.маx}$ волны вдоль линии (то есть значение амплитуды в пучности) составляет:

$$U_{пад} + U_{отр}$$

а наименьшее значение амплитуды (то есть значение амплитуды в узле) составляет

$$U_{пад} - U_{отр}$$

Следовательно

$$КСВ = \frac{U_{пад} + U_{отр}}{U_{пад} - U_{отр}}$$

Взаимосвязь между КСВ, возвратными потерями и коэффициентом отражения

С помощью подстановки в формулы, приведенные ниже, и их простого преобразования можно получить следующее:

$$\Gamma = \frac{КСВ - 1}{КСВ + 1}$$

$$КСВ = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma}$$

$$\Gamma = 10^{-\frac{RL}{20}}$$

$$RL = -20 \lg(\frac{КСВ - 1}{КСВ + 1})$$

$$RL = -20 \lg(\Gamma)$$

$$КСВ = \frac{1 + 10^{-\frac{RL}{20}}}{1 - 10^{-\frac{RL}{20}}}$$

Таблица преобразования значений КСВ, возвратных потерь и коэффициента отражения

Коэффициент отражения $ \Gamma $ в %	Возвратные потери, дБ	Коэффициент стоячей волны
100,0000	0	∞
89,1251	1	17,3910
79,4328	2	8,7242
70,7946	3	5,8480
63,0957	4	4,4194
56,2341	5	3,5698
50,1187	6	3,0095
44,6684	7	2,6146
39,8107	8	2,3229
35,4813	9	2,0999
31,6228	10	1,9250
28,1838	11	1,7849
25,1189	12	1,6709

Таблица преобразования значений КСВ, возвратных потерь и коэффициента отражения

Коэффициент отражения $ \Gamma $ в %	Возвратные потери, дБ	Коэффициент стоячей волны
22,3872	13	1,5769
19,9526	14	1,4985
17,7828	15	1,4326
15,8489	16	1,3767
14,1254	17	1,3290
12,5893	18	1,2880
11,2202	19	1,2528
10,0000	20	1,2222
8,9125	21	1,1957
7,9433	22	1,1726
7,0795	23	1,1524
6,3096	24	1,1347
5,6234	25	1,1192
5,0119	26	1,1055
4,4668	27	1,0935
3,9811	28	1,0829
3,5481	29	1,0736
3,1623	30	1,0653
2,8184	31	1,0580
2,5119	32	1,0515
2,2387	33	1,0458
1,9953	34	1,0407
1,7783	35	1,0362
1,5849	36	1,0322
1,4125	37	1,0287
1,2589	38	1,0255
1,1220	39	1,0227
1,0000	40	1,0202
0,8913	41	1,0180
0,7943	42	1,0160
0,7079	43	1,0143
0,6310	44	1,0127
0,5623	45	1,0113
0,5012	46	1,0101

Возвратные потери, КСВ и S11. В чем разница? Физический смысл S-параметров антенны.

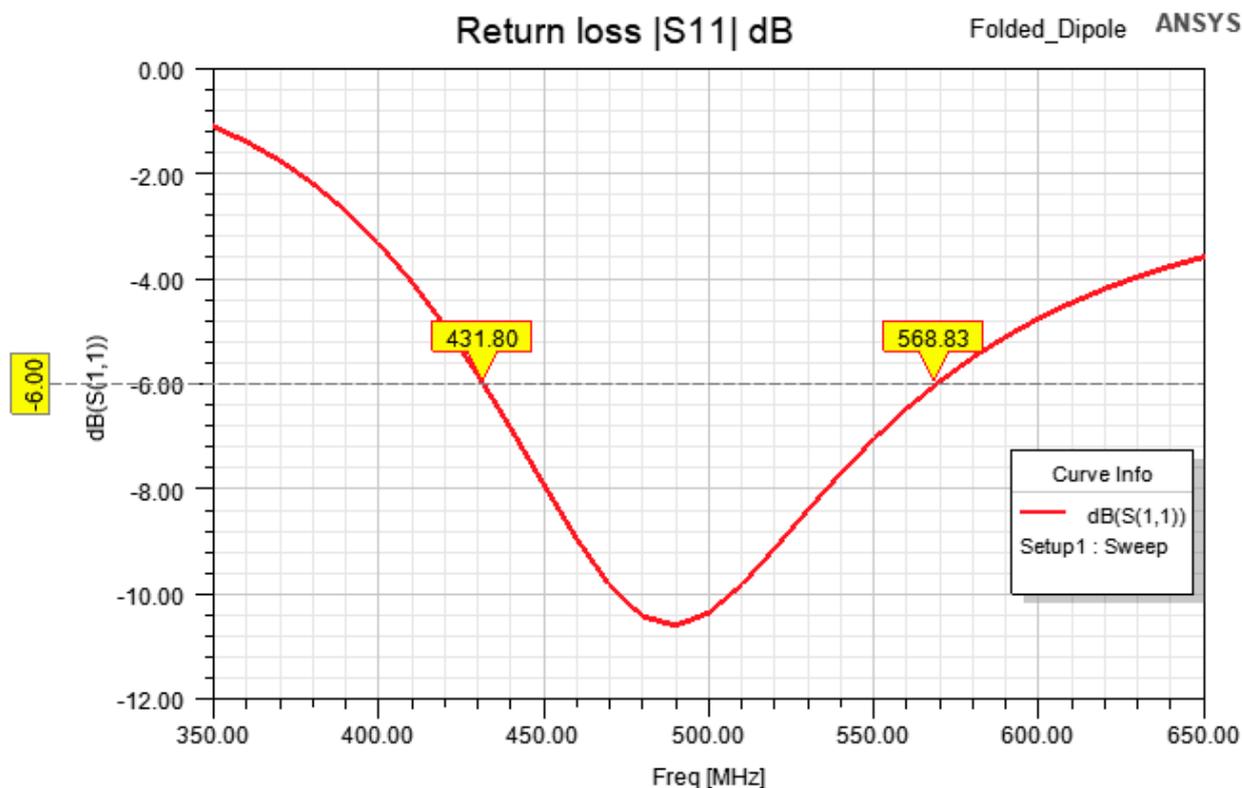
Современная радиотехника настолько сложная наука, что она уже давно разделилась на несколько отдельных областей знаний, в которых присутствуют похожие и даже

это понять на простом примере линии передач. В эту линию входит электромагнитная волна через порт возбуждения - «порт1», а полезной нагрузкой является «порт2». Для нас желательно, чтобы вся мощность исходящая от порта1 попадала в порт2. Это происходит в частном случае в линии без потерь при полном ее согласовании с обоими портами. В общем же случае волна «рассеивается» по дороге, отражается от входа линии обратно в порт1, а также затухает при распространении в линии. Поскольку понятие «порт» — это в некотором смысле нагрузка и источник в одном лице, можно, а для полного точного анализа и нужно, рассмотреть и обратную ситуацию, когда волна исходит от порта2 к порту1. В итоге мы имеем матрицу из четырех S-параметров. Все эти параметры являются величинами комплексными, ведь любая волна кроме амплитуды имеет еще и фазу, и операции с ними ведутся с помощью математического аппарата векторного анализа. Векторные анализаторы цепей, которые в последнее время стали доступны радиолюбителям (можно например купить [такой](#) или [такой](#)), измеряют как раз эти самые S-параметры, а уже затем преобразуют их в понятные нам графики.

Параметр S11/S22 («reflection coefficient») характеризует коэффициент отражения волны от входа СВЧ устройства. Он полностью эквивалентен пришедшему из [теории длинных линий передач](#) более старому понятию «коэффициент отражения», равному отношению отраженной волны к падающей и который обозначается заглавной греческой буквой «Г». Только волна отражается здесь не от «нагрузки», а от входа в «черный ящик» (роль которого играет СВЧ устройство) обратно в порт возбуждения.

$$S_{11} = \Gamma_{in}$$

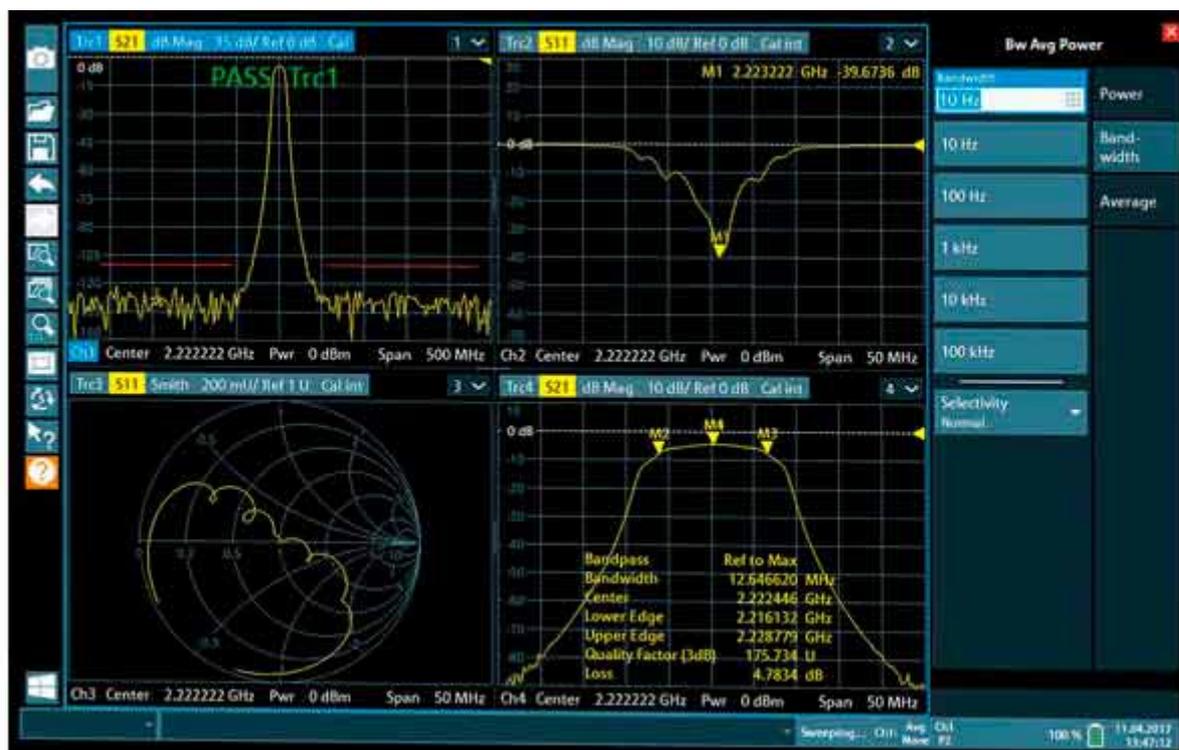
А как мы знаем, модуль этого вектора — $|\Gamma_U|$ однозначно связан с понятием КСВ. Точнее не КСВ, а КСВН, но по негласному соглашению это считается одним и тем же. Модуль параметра S11 в децибельном выражении в теории СВЧ устройств по другому называют «**return loss**» - возвратными или обратными потерями. Ведь часть волны не дошла до выхода, вернулась обратно в абстрактный «порт» и там бесследно исчезла, «рассеялась» в бесконечной «СВЧ-вселенной».



На практике такого конечно же не происходит, так что «**return loss**» — это тот же КСВ, только «вид в профиль», и с реальными потерями мощности абсолютно никак не связан. С потерями мощности связан другой параметр «**mismatch loss**» - потери рассогласования, но и они совсем не эквивалентны привычным нам тепловым потерям. Это сразу становится видно если мы вернемся к классической теории цепей и заменим пресловутый «порт» на «источник». Об этом подробно и доступно [написано у И.Гончаренко](#).

При этом дополнительные тепловые потери в линии, вызванные высоким КСВ на самом деле тоже присутствуют, причем эти потери — это ни «**return loss**», ни «**mismatch loss**», это уже «**extra loss**». Мудрее не придумаешь. Не правда ли? Как посчитать эти дополнительные тепловые потери «**extra loss**» подробно [изложено здесь](#).

Следует отметить, что величина возвратных потерь, выраженная через $|S_{11}|$ всегда меньше единицы (в децибельном выражении всегда отрицательна), ведь отраженная мощность не может превышать падающую. Что логично. Тем не менее, в теории уже давно присутствует понятие с тем же названием **RL** — «возвратные потери», но определяется оно «вверх тормашками», как отношение падающей мощности к отраженной, и в децибельном выражении величина таких «потерь» всегда положительна. При этом, при КСВ стремящемся к единице такие «возвратные потери» стремятся к бесконечности. У нас идеальный КСВ, а какие-то там «потери» просто зашкаливают! Это у кого угодно может вызвать нешуточный разрыв шаблона. На самом деле эта величина характеризует степень ослабления отраженной волны в сравнении с падающей, но какие же это потери/убытки черт возьми! Скорее прибыль.



Такое вопиющее несоответствие понятия его определению даже отмечено в Википедии, цитата:

From a certain perspective 'Return Loss' is a misnomer. The usual function of a transmission line is to convey power from a source to a load with minimal loss. If a transmission line is correctly matched to a load, the reflected power will be zero, no power will be lost due to reflection, and 'Return Loss' will be infinite. Conversely if the line is terminated in an open circuit, the reflected

power will be equal to the incident power; all of the incident power will be lost in the sense that none of it will be transferred to a load, and RL will be unity. Thus the numerical values of RL tend in the opposite sense to that expected of a 'loss'. [Wikipedia](#)

Данное определение «возвратных потерь» с большим положительным значением более старое, было введено в обиход еще в 60-х годах прошлого века с легкой руки инженеров фирмы Hewlett Packard. Отказаться от старого очень сложно и споры о том какое определение возвратных потерь правильное, первоначальное от Hewlett Packard или более логичное через S_{11} , в инженерной среде не утихают по сей день. Однако в децибельном выражении они отличаются только знаком и многие даже не обращают внимания на эту коллизию.

Параметр S_{21}/S_{12} («transmission coefficient») — это отношение волны на выходе устройства к волне на входе. Модуль параметра S_{21} в теории СВЧ устройств иногда называют «insertion loss» — вносимые потери. В случае нашего примера с линией передач «insertion loss» — это реальные тепловые потери линии. Тут все совпало. Волна в этом случае на самом деле частично рассеялась при прохождении по линии и ее энергия преобразовалась в тепло. Но так бывает не всегда. Например теми же S-параметрами описываются и свойства СВЧ транзисторов. В этом случае S_{21} — это коэффициент передачи транзистора, близкий по смыслу к параметру h_{21} — коэффициенту усиления, а не потерь.

В антенне с одним портом мы имеем дело только с одним параметром — S_{11} или, иначе говоря, со старым добрым ~~теплым ламповым~~ коэффициентом отражения. Рассчитав в симуляторе или измерив его векторным анализатором мы однозначно можем вычислить и входной импеданс, и полосу пропускания и КСВ антенны. В двухпортовой [MIMO антенне](#) S-параметров уже четыре. Причем S_{21}/S_{12} в этом случае характеризуют развязку между MIMO портами. Вообще в антенной технике энергия должна идти куда надо, т. е. излучаться в пространство, а не «рассеиваться» где ни попадя и «болтаться в проруби» туда сюда между портами и по линиям передач. Поэтому модуль любого S-параметра антенны должен быть минимальным или в [децибельном выражении](#) как можно более отрицательным.

На вопрос, поставленный в заголовок статьи можно ответить однозначно. *Разницы между коэффициентом отражения и S_{11} , а также между КСВ и возвратными потерями нет. По большому счету все эти параметры описывают одно и то же явление. Их можно пересчитывать друг в друга по вышеприведенным формулам, в сети полно таблиц прямого соответствия между ними. Например уровень -6 dB на графике $|S_{11}|$ эквивалентен $КСВ \approx 3$. Спорить какой параметр лучше/правильней смысла не имеет. Используйте тот к которому привыкли.*

Как видим, радиотехника в широком смысле, в силу своей сложности, разделилась на лоскутный набор узких дисциплин. Инженеры, работающие в отдельной такой дисциплине, придумывают для себя удобное для работы понятие, особо не задумываясь, что оно где то в смежной области уже давно изобретено. В итоге одно и то же явление в разных дисциплинах описывается разными терминами, либо совершенно разные явления названы одним термином. Как в старой доброй сказке «Королевство кривых зеркал». А куда деваться? Так уже сложилось. Нужно просто «понимать глубину наших глубин».

Ссылки по теме:

- [Return loss](#) - определение возвратных потерь в Википедии;

- [Mismatch loss](#) - определение потерь рассогласования в Википедии;
- [Матрица рассеяния](#) - матрица рассеяния, или S-матрица - определение в Википедии;
- [S11 или "обратные потери" или "входная большая потеря". ЧТО ПОКАЗЫВАЕТ КСВ МЕТР ?](#) - "практическая теория" от RA6FOO с таблицами соответствия;
- [РАСЧЕТЫ ФИДЕРНЫХ СИСТЕМ](#) - потери в фидере и элементах согласования, трансформаторах, повторителях;
- [Потери в рассогласованной линии](#) - потери рассогласования и дополнительные тепловые потери в линии вызванные тем же рассогласованием, теория от DL2KQ;
- [Расчет и связь между КСВ, коэффициентом отражения и возвратными потерями](#) - другая таблица соответствия, уже с классическими положительными возвратными потерями;
- [Мои субъективные впечатления от NanoVNA](#) - обзор популярного портативного векторного анализатора цепей от R2AUK;
- [Return Loss: A Collision Between Two Worlds](#) - откуда взялись разные определения возвратных потерь и почему их так назвали;
- [Онлайн калькулятор потерь в коаксиальном кабеле](#) с учетом потерь рассогласования и дополнительных потерь при высоком КСВ;