

$$z = a - i \cdot (b - XL1)$$

Наконец, введя обозначения  $XL = XL1 + XL2$  и подсоединяя параллельно катушку  $XL2$  получим

$$Re = \frac{a \cdot XL2 \cdot (b - XL) + a \cdot (b - XL1) \cdot XL2}{a^2 + (b + XL)^2} + i \frac{a^2 \cdot XL2 - (b - XL1) \cdot XL2 \cdot (b - XL)}{a^2 + (b + XL)^2}$$

Условие резонанса сводится к равенству нулю мнимого второго члена, что возможно при

$$a^2 = (b - XL1) \cdot (b - XL1 - XL2)$$

Отсюда

$$XL2 = b - XL1 - \frac{a^2}{b - XL1}$$

Отсюда следуют два предельных случая

$b - XL1 = a$  , при котором  $XL2=0$  и

$XL1=0$   $XL2 = b - \frac{a^2}{b}$  . После подстановки сюда  $a$  и  $b$  получим

$$XL2 = Xc \cdot \frac{Rn^2 - Xc^2}{Rn^2 + Xc^2}$$

Это очень примечательное выражение, ибо оно дает возможность вычислить сопротивление индуктивности по известному сопротивлению нагрузки и емкостному реактивному сопротивлению параллельного контура. Отсюда видно, что подключение нагрузки к параллельному контуру изменяет частоту резонанса.

### **Можно ли работать на нескольких диапазонах с одной антенной?**

Судя по рассмотренным выше особенностям П-контура, его применение как согласующего устройства для работы с одной антенной на разных диапазонах, возможно, для ламповых выходных каскадов, если дополнительно компенсировать реактивные сопротивления в самой антенне. Оно ограничено только возможным диапазоном изменения переменных конденсаторов и переменных индуктивностей с переключателями на различное число витков. Допустим очень трудно регулировать очень малые емкости или создавать большие индуктивности. Если антенна питается через коаксиальный кабель, то в принципе это ничего не меняет, ибо надо только рассчитать какой ток он может выдержать в узлах. Для транзисторных выходных каскадов более подходит, описанный выше Т- контур. Однако все зависит еще и от фактических входных параметров антенны на разных диапазонах. Вообще желание иметь одну антенну на все диапазоны вполне осуществимое дело.

### **Трудно ли определить сопротивление излучения и реактивную составляющую антенны на разных диапазонах?**

Эти параметры также являются весьма завуалированными в различных описаниях, ибо отсутствуют простые способы их определения. На первых порах достаточно иметь ГИР (Например, промышленный ГИР1) , микроамперметр на 50 мка с выпрямляющим мостом, два переменных конденсатора 15-500 пкф, две катушки индуктивности в 30 мкГн., с напаянными выводами для захвата крокодильчиками через 2-3 витка, размещенных на корпусах диаметром 60 мм с шагом укладки намотки в 3-1,5мм -для удобства напайки жестких отводов.

Полная схема его показана на рис 3:

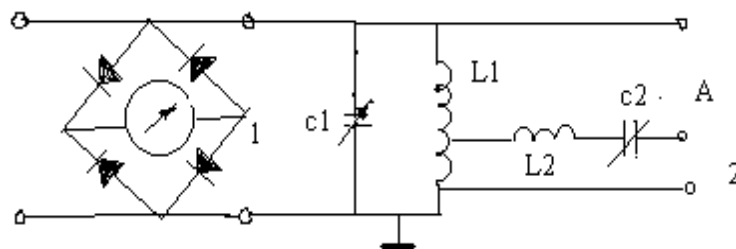


Рис 3. Схема прибора.

Микроамперметр присоединяется параллельно к клеммам 1 совместно с клеммами ВЧ напряжения от ГИРа. Если используется источник ВЧ напряжения с низким выходным сопротивлением, то подключение проводится через резистор. Падение напряжения на нем как раз и фиксируется в резонансе.

Установив нужную частоту источника, постепенно увеличивается напряжение ВЧ и проверяется наличие отклонения стрелки прибора..

Теперь можно приступить к первому этапу работы - тарировке емкости конденсаторов по углу поворота и индуктивности по числу витков. Сначала надо добиться резонанса вращением конденсатора С1 в сторону максимума показания прибора.

После этого следует увеличить ВЧ напряжение до максимальной точки шкалы.

Подключая параллельно контуру различные постоянные конденсаторы и восстанавливая резонанс находится несколько контрольных точек, по которым определяется зависимость емкости конденсатора от угла поворота. Затем по показаниям емкости тарируется катушка индуктивности. Эти данные заносятся в таблицу и интерполируются на целые деления угла поворота через 10 градусов. Аналогичная процедура проводится и с парой С2 ,L2. После этого можно приступить к измерениям.

Для несведущих напомним, что любая антенна ведет себя двояко. С одной стороны ее можно представить как последовательный контур, соединяющий индуктивность и емкость, и некоторое активное сопротивление называемое сопротивлением излучения. Если к концам 2 на рис 3 подключить активное сопротивление, то вместе с L2 и С2 как раз и будет образован последовательный контур.

С другой стороны та же самая антенна может работать как параллельный контур по типу L1, С1 с концами 1 замкнутыми сопротивлением излучения. Эти сопротивления, для одной и той же антенны, отличается на порядок. Почему именно так работает антенна никому неизвестно, хотя и есть обоснованные предположения. Но что это именно так, можно убедиться из последующих измерений.

Чтобы определить сопротивление излучения при параллельном подключении антенны используется только L1 и С1. Включив ГИР необходимо подать переменное напряжение на одном из рабочих диапазонов, добившись резонанса по максимуму отклонения стрелки микроамперметра. Затем необходимо определить емкость конденсатора по углу поворота.

После этого к концам катушки L1 подключаются выводы антенны (Для антенны типа длинный провод одним концом является заземление.). После подключения показания прибора снизятся. Это произойдет ввиду наличия в антенне реактивного и активного сопротивления. Вращая ручку конденсатора следует вновь добиться резонанса по максимуму показаний и определить емкость конденсатора. Необходимо также записать новое показание прибора. Если емкость конденсатора увеличилась, то это значит, что антенна обладает дополнительным индуктивным сопротивлением  $X_a$ , которое подключаясь параллельно к индуктивному сопротивлению L1 уменьшая его значение.

Для определения индуктивного сопротивления антенны, именно в этом случае, необходимо вычислить емкостное сопротивление конденсатора, которое было до подключения антенны и после подключения  $X_c$ ,  $X_{ca}$ , и провести вычисления по формулам  $X = X_c - X_{ca}$   $X_a = X * X_c / (X_c - X)$  .

Далее по Ха следует вычислить величину индуктивности за зажимах антенны. Подключая затем вместо антенны переменное сопротивление и устанавливая резонанс необходимо добиться того же показания прибора, которое было при подключенной антенне. Это как раз и будет сопротивлением излучения. Если емкость при подключении антенны, в резонансе, уменьшится, то это значит, что антенна обладает дополнительным емкостным сопротивлением. Величина изменения емкости конденсатора как раз и будет равна входной емкости антенны.

Работа по определению сопротивления излучению при последовательном резонансе проводится после подключения антенны к разъему 2. При этом устанавливается максимум показаний при вращении конденсатора 1 и минимум показаний при вращении конденсатора 2. Это достигается последовательно несколькими настройками. После этого записываются показания двух конденсаторов и прибора. Далее вместо антенны подключается переменное сопротивление и, повторяя всю процедуру устанавливая резонанс двумя конденсаторами и величину сопротивления так, чтобы добиться прежнего показания прибора. После этого вновь записывают показания двух конденсаторов и тестером измеряют величину переменного сопротивления. Она и будет равна сопротивлению излучения. Величина емкости C1 должна автоматически быть той же, что и при подключении антенны. По значению отклонения C2 с антенной и с активным сопротивлением можно найти величину реактивного сопротивления антенны. Если емкость с антенной была меньше, чем с активным сопротивлением, то это значит, что антенна имеет дополнительное индуктивное входное сопротивление, которое в приборе компенсируется уменьшением емкости. Это уменьшение и будет численно равно индуктивному сопротивлению. Если, наоборот, емкость с антенной больше, что означает уменьшение емкостного сопротивления, то следовательно антенна имеет дополнительное емкостное сопротивление- как раз то, на которое уменьшилось сопротивление конденсатора. Точка подключения к контуру L1, C1 определяется удобством измерений. В качестве примера ниже приведены результаты таких измерений для антенны типа LW (длинный провод с заземлением) имеющей собственную резонансную частоту в 5,94 мгц.

#### Сопротивление в омах

Частота в мгц.	Параллельное соединение		Последовательное соединение	
	Активное	Реактивное	Активное	Реактивное
28	75	-210	61	-210
21	1600	-25	100	- 25
14	3800	0	43	-500
7	2300	170	44	700
3,5	25	-130	22	-510
1,84	19000	-690	25	-750

Как видно, результаты, что называется не предсказуемы. Точность измерений здесь находится в пределах 10-20 процентов. Менее точно измеряются параметры на более высоких диапазонах.

#### Что же дальше?

После определения сопротивления излучения и реактивного сопротивления на всех диапазонах антенна была подключена к П- контуру передатчика с возможностью регулировки мощности в пределах 1-20 ватт и минимальным эквивалентным сопротивлением выходного каскада на лампе ГУ-50 равным 7500 ом.

В результате оказалось, что на 28 мгц антенна работала в последовательном резонансе с добротностью порядка 11, что можно подсчитать разделив 7500 на сопротивление излучения в 75 ом и извлекая квадратный корень из полученного значения.

На 21 мгц антенна работала в параллельном резонансе.

На 14 мгц удалось добиться согласования регулировкой конденсаторов контура, но антенна работала в параллельном резонансе- то есть конденсатор связи пришлось уменьшить почти до предела. Естественно большое сопротивление нагрузки привело к уменьшению добротности до 1,4. При этом естественно фильтрация гармоник практически отсутствовала ( для нормальной работы добротность должна быть не ниже 8). На 7 мгц антенна также работала в параллельном подключении с плохими фильтрующими свойствами.

На частотах 3,5 и 1,84 мгц добиться хотя бы удовлетворительной работы не удалось.

Далее были предприняты попытки применить дополнительные согласующие устройства. На частоте 28 мгц оказалось удобным подключить в разрыв антенны последовательный контур настроенный на эту же частоту переменным конденсатором из того же набора, что и в измерениях. Установка последовательного контура здесь играет двойную роль. Он, с одной стороны, компенсирует излишнее реактивное сопротивление антенны, и действует как фильтр-пробка для гармоник. Путем последующей подстройки контура на 28 мгц удалось несколько улучшить согласование, то есть анодный ток увеличился.

На 21 мгц таким добавлением также несколько улучшилось согласование.

На частоте 14 мгц добиться перехода в последовательный резонанс не удалось. Но за счет установки последовательного контура значительно увеличилась добротность и емкость конденсатора связи стала больше. То есть произошло смещение в сторону последовательного резонанса и добротность стала равной примерно 8. Отдаваемая мощность увеличилась примерно на 20 процентов.. Это же самое произошло и на частоте 7 мгц., где мощность увеличилась на 25-30 процентов. На частоте 3,5 мгц., с помощью последовательного контура удалось полностью компенсировать реактивное сопротивление и антенна хорошо работала в последовательном резонансе отдавая полную мощность при высокой добротности- около 20-ти. На частоте 1,84 мгц оказалось целесообразным подключить антенну к параллельному контуру и того же набора, что и при измерениях. Затем на 1/5 витков катушки был подключен выход передатчика, что снизило сопротивление нагрузки до 760 ом. Далее настройкой П-контура и конденсатора параллельного контура весьма своеобразным способом удалось добиться полного согласования и отдачи мощности так, что этот диапазон стал доступным несмотря на 13-метровую антенну. Из параметров антенны должно быть ясным почему именно на этом диапазоне пришлось применить параллельный контур- ведь сопротивление излучения в параллельном резонансе, для этого диапазона, очень велико. Таким образом в данном конкретном случае удалось согласовать имеющуюся антенну для работы на всех диапазонах без каких-либо действий над самой антенной, а лишь только путем установки дополнительного последовательного контура.. Только в диапазоне 1,84 мгц был установлен дополнительный параллельный контур. Думаю, что таким же образом можно исследовать любую антенну и добиться удовлетворительной или даже хорошей ее работы не загрязняя эфир побочными излучениями. Характерной особенностью работы настроенной антенны является полное совпадения максимума мощности с максимумом тока и напряжением в антенне и максимумом анодного тока, а также максимума напряженности поля. Таким образом однозначно решается вопрос о способе определения точки полной настройки антенны- ее можно определять только по максимальному анодному току. При полном согласовании полностью пропадают признаки какого-либо самовозбуждения или наличия ВЧ на ключе, педали управления и наушниках. Более того практически исчезают помехи телевидению там, где ранее, как казалось, они были неизбежны. Приведенный пример послужит помощью тем, кто уже имеет передатчик с П-контуром. Для тех же, кто имеет импортную аппаратуру с фиксированным выходным эквивалентным сопротивлением, например в 50 ом, то здесь несколько сложнее добиться именно такого входного сопротивления от антенны.

Очевидно придется сделать специальное согласующее устройство использующее свойства Г-образного звена последовательного контура... Беспокоиться о фильтрации гармоник здесь не придется ибо на выходе, как правило, сигнал уже хорошо отфильтрован. Надо только избавиться от реактивной составляющей за счет дополнительного значения последовательного включения емкости или индуктивности. Для тех, кто занимается конструированием передающей аппаратуры на транзисторах придется решать задачу согласования при очень маленьком эквивалентном сопротивлении выходного каскада. Как отмечено выше это удобнее сделать Т-контуром. Например, антенна, с приведенными выше параметрами, согласовывалась с транзисторным выходом трансивера мощностью 2 ватта, с эквивалентным выходным сопротивлением в 35 ом, на трех диапазонах 14, 7 и 3,5 мгц. В первом случае, ввиду отсутствия реактивной составляющей антенны, использовался Т-контур, в котором катушка индуктивности подключалась одним концом к массе, а ко второму концу подключался корпус двухсекционного переменного конденсатора, неподвижные и изолированные секции которого образовывали две ветви. К одной из них подключалась антенна, а ко второй – выход передатчика. Затем подбором витков и настройкой в резонанс по максимуму коллекторного тока устанавливалось полное согласование. Впрочем на этом же диапазоне хорошо работал просто последовательный контур, у которого катушка индуктивности подключалась к массе, а конденсатор- к выходу трансивера. Антенна присоединялась к части витков катушки индуктивности так, чтобы при резонансе ток был максимально допустимым. Кстати, этот вариант очень простой и удобный. Надо только соблюдать условия достаточности фильтрации сигнала устанавливая значения емкости и индуктивности соответствующие большой добротности. Добротность рассчитывается как корень квадратный из частного от деления сопротивления в точке соединения этих элементов на эквивалентное сопротивление выходного каскада. На диапазоне 7 мгц использовался только последовательный контур подключенный как описано выше. Поскольку на этом диапазоне антенна имеет дополнительное индуктивное сопротивление, то, при подключении ее к части витков индуктивности контура, уменьшает индуктивность той части катушки, к которой она присоединяется. Это уменьшение компенсируется подстройкой конденсатора. На диапазоне 3,5 мгц также использовался последовательный контур. При этом катушка индуктивности подключалась к массе, а антенна- к конденсатору. Выход от передатчика подключался к части витков катушки индуктивности. Поскольку на этом диапазоне антенна имеет емкостное сопротивление, то оно компенсируется увеличенной индуктивностью контура. Таким образом и в этом случае удается добиться хорошего согласования.