

В настоящее время разработано большое количество конструкций внешних автоматических антенных тюнеров (АТ), часть из них изготавливается радиолюбителями самостоятельно, большая часть изготавливается фирмами. Для работы малой мощностью (QRP) представляет интерес АТ, которые устанавливаются непосредственно между питающим фидером и антенной, что позволяет свести к минимуму потери мощности при передаче, ввиду работы фидера в оптимальном режиме, компенсация реактивной составляющей антенны на ее зажимах питания, исключение антенного эффекта фидера.

При работе QRP из полевых условий важно максимально упростить действия оператора и сократить количество соединяемых блоков для развертывания радиостанции. При наличии АТ в составе радиостанции (подавляющее большинство импортных трансиверов) эти условия выполняются. Но при использовании самодельных трансиверов необходимо присоединять дополнительно ручной или автоматический тюнер, при этом он находится между трансивером и фидером. К тому же, стоимость импортного АТ может превышать стоимость импортного или самодельного трансивера и, как правило, работа импортных АТ предусматривает работу совместно с трансивером определенного типа или имеющего соответствующий интерфейс. В качестве портативных антенных тюнеров, не требующих питания для удержания реле после настройки можно привести пример тюнеров LDG Z-100 и T1 Elecraft. Однако, их негерметичное исполнение не позволяет разместить эти АТ без доработки на зажимах антенны в полевых условиях.

При работе из полевых условий, даже при использовании предварительно настроенных антенн, при развертывании антенн на неоптимальных высотах или при влиянии окружающих предметов возникает ситуация, когда полное сопротивление антенны не может быть согласовано с фидером без применения дополнительных согласующих устройств. При этом нет необходимости проводить согласование в широком диапазоне значений активного и реактивного сопротивления, как это сделано в АТ, предусматривающих работу на случайные и автомобильные антенны.

Предлагается АТ, располагаемый непосредственно на мачте (на зажимах дипольной антенны с симметрирующим устройством) или на изоляторе несимметричной антенны. Питание АТ осуществляется по ВЧ фидеру через инжектор питания, который обеспечивает разделение переменного ВЧ тока и постоянного тока для питания АТ. В качестве схемы согласования выбрано Г-образное LC звено, работа которого

широко освещена в радиолюбительской и профессиональной литературе. LC звено состоит из 5 конденсаторов и 4 индуктивностей и позволяет составить 1024 комбинации, что достаточно для приемлемого согласования активного сопротивления от 20 до 200 Ом на 80 метровом диапазоне и согласования с КСВ менее 1,5 в большем диапазоне согласуемого сопротивления на остальных диапазонах. Работа АТ на 160м диапазоне не предусматривалась, так как редко используется при работе из полевых условий, а необходимость согласования антенны на частотах ниже 3 МГц потребовала бы применения большего набора емкостей и индуктивностей. Максимальная емкость LC звена составляет 310 пФ, максимальная индуктивность – 3,75 мкГн. Минимальный шаг переключения емкостей составляет 10 пФ, а индуктивностей - 0,25 мкГн.

Некоторую сложность при построении самодельных АТ вызывает датчик КСВ, который выполняется, как правило, как направленный ответвитель на трансформаторах. При этом изготовление датчика КСВ требует от радиолюбителя дополнительных затрат и применение приборов для калибровки ответвителя, при этом затруднительно получить линейность напряжения на выходе датчика КСВ в зависимости от частоты во всем диапазоне работы датчика.

В данном АТ применен мостовой метод измерения согласования, при этом получена хорошая линейность при изменении КСВ во всей полосе частот, и трансивер всегда нагружен на сопротивление, близкое к 50 Ом независимо от процесса коммутации цепей LC. Однако, максимальная мощность, долговременно рассеиваемая на элементах моста не должна превышать 10 Вт, это выполняется для QRP трансиверов, при применении трансиверов с мощностью до 50 Вт – необходимо снижать мощность при настройке или задействовать цепь ALC.

Алгоритм работы АТ следующий: при включении тумблера S1 “Tune”, питание с источника питания через развязывающие дроссели L11 и L12 и схему контроля тока (VT3) поступает через ВЧ фидер в АТ. При появлении питания на входе АТ включается реле K2, которое переключает схему на входе АТ в режим настройки. Одновременно с этим, напряжение поступает через развязывающие дроссели на стабилизатор напряжения 5 В и стартует программа микроконтроллера (МК) Atmega16, который анализирует напряжение на входе моста и ожидает появления ВЧ напряжения, что сигнализирует о работе передатчика. Далее МК читает записанные параметры предыдущего

согласования из EEPROM памяти (значение КСВ) и если они совпадают – устанавливает их в необходимом сочетании LC с помощью реле. Таким образом, реализуется память на параметры двух антенн. Если антенна подключена новая, был сделан переход на другой диапазон или присутствует заметное изменение КСВ по диапазону - МК подает питание на реле с помощью управления ключом на транзисторе VT1 и начинает настройку, вначале “грубо”, а потом, после нахождения комбинации необходимой цепи LC, переходит к подстройке оптимальной комбинации параметров цепи LC, запоминает их в памяти EEPROM. По завершении программы МК подает команду на срабатывание ключа на транзисторе VT2. При возрастании тока выше 4-5 А, в инжекторе открывается транзистор VT3, что приводит к срабатыванию триггера, построенного на транзисторах VT4 и VT6, отключается реле К1 и загорается светодиод HL1, сигнализирующий о готовности к работе. Для коммутации набора LC используются поляризованные бистабильные ВЧ реле фирмы Fujitsu A9-WK, что позволяет сохранять настройку АТ при отключении питания. К ВЧ реле коммутирующим LC набор предъявляются следующие требования: максимальная коммутируемая и пропускаемая мощность, межконтактная емкость и емкость контактов на якорь реле. При использовании мостового способа измерения КСВ в режиме настройки на контактах ВЧ реле присутствует меньшая мощность, чем в режиме работы, что увеличивает ресурс контактов реле. Емкость между контактами реле 0,5 пФ, между якорем и контактом 1 пФ. Максимальный коммутируемый ток 2А, максимальное напряжение – 125 В, максимальная коммутируемая мощность - 30 Вт. Так же можно применить поляризованные реле фирмы Xiamen Hongfa EI.Co HFD2 с одним или двумя якорями, максимальная коммутируемая мощность которых составляет 90 Вт. Время задержки включения этих реле менее 10 мс, в программе выбрана задержка на установку параметров около 50 мс, при этом полная настройка выполняется за время менее 15 сек.

Контакты реле Fujitsu A9-WK включены параллельно для коммутации L4-L7, а для коммутации C5-C9 используется одна контактная группа для уменьшения паразитной емкости на корпус.

Ввиду того, что АТ размещен непосредственно на мачте в точке питания дипольной антенной или вблизи точки запитки несимметричной антенны, а так же гальванически постоянно связан с фидером и антенной, возникает необходимость в применении ряда защит. Первое, что необходимо предотвратить - это превышение

постоянного напряжения на фидере, а значит и на цепях тюнера, при воздействии статики или грозовых разрядов вблизи антенны. Для защиты от этого установлен разрядник типа P-144 с пробивным напряжением 80 В, резистор утечки R3, снимающий часть статического потенциала, варистор VDR1 12G220K с напряжением срабатывания 24В, TVS диод VD6 с напряжением срабатывания 27В, который защищает цепь от коротких перенапряжений в цепи питания стабилизатора МК.

При питании АТ и радиостанции от аккумулятора, может произойти кратковременно пропадание или снижение напряжения, а при воздействии кратковременных импульсных или радиопомех возможен сбой программы МК и повреждение данных EEPROM, для защиты от этого предусмотрены: внешний супервизор питания MAX809 и запись в EEPROM возможна только при допустимом напряжении питания. При этом в течении всего времени работы АТ, регистры адресации EEPROM обнулены, что дополнительно защищает сохраненные данные.

Для защиты от нештатного состояния порта А при сбое МК, цепь управления транзистором VT2 выполнена по схеме (защитная цепь на транзисторе VT4), исключающей неконтролируемое включение ключа при появлении на всех пинах порта А одинаковых логических уровней. Так же, для защиты уже установленных параметров реле цепи LC установлен ключ на транзисторе VT1, который подает напряжение на обмотки реле. После окончания настройки, выставление команд на остановку настройки, сохранение результата, снятие напряжения с обмоток реле и включение ключа производится в строгой последовательности по программе МК.

Для разделения постоянной и переменной составляющей токов, текущих по фидеру, предназначены дроссели L1, L2, L11, L12, причем дроссель L11, находящийся в цепи инжектора, после настройки, отключается реле от цепи. Дроссели L2 и L11 выполнены секционированными с комбинированным магнитопроводом. “Горячая” часть дросселей намотана тремя секциями на каркасе, “холодная” часть дросселя на тороидальном сердечнике 2000НН. Общая индуктивность дросселей должна лежать в пределах 60-80 мкГн. Проведенные эксперименты показали, что у такого дросселя отсутствуют паразитные резонансы в диапазоне частот 1-30 МГц, эскиз каркаса для дросселей приведен на рисунке (). Дроссель L12 предотвращает затекание ВЧ токов по оплетке фидера в инжектор. Дроссель L1 дополнительно подавляет составляющие ВЧ токов в цепи питания АТ. К дросселям L1

и L12 не предъявляются дополнительные конструктивные требования, они намотаны на тороидальных сердечниках с магнитной проницаемостью 1500-2000НН до получения необходимой индуктивности проводом ПЭВ-2 или ПЭЛШО диаметром 0,3-0,35 мм.

Дроссели L9 и L10 для питания цепей VCC и AVCC МК необходимы для развязки цифровой и аналоговой цепей питания МК при использовании АЦП.

Защита от превышения уровня на портах АЦП выполнена с помощью стабилитронов VD4 и VD5 на напряжение стабилизации от 4,8 до 5 В. Управление обмотками поляризованными реле производится ключами на транзисторах (коммутирующие ячейки), базы которых подключены к портам МК через высокоомные резисторы 6,8 кОм. При этом сами обмотки реле оказываются включенными через резисторы 270 и 75 Ом, что развязывает емкость якоря и контактов реле относительно общего провода и настраиваемой цепи LC. Так же, данные резисторы являются токоограничительными и дополнительно защищают ключи от напряжения самоиндукции реле.

На германиевом диоде VD3 выполнен детектор напряжения диагонали моста, выпрямленное напряжение поступает через фильтр реализованный на элементах R9,R10,L3,C13,C14 на вход АЦП МК (канал 0). ВЧ напряжение на входе моста детектируется диодами VD1, VD2, выпрямленное напряжение через фильтр реализованный на элементах R7,C4,C15,C16,L8 поступает на вход АЦП МК(канал 1).

Конструктивно АТ выполнен на двух платах, хотя проведенные позже эксперименты показали, что при мощности 10 Вт при грамотной трассировке платы с сохранением больших полигонов общего проводника АТ может быть выполнен и на одной печатной плате. В авторском варианте платы соединяются между собой жгутом проводов, причем цепи с выпрямленным напряжением диагонали и входа моста должны быть проведены в экране. Дополнительно на жгут одет ферритовый фильтр (защелка).

При изготовлении самодельных АТ радиолюбители сталкиваются с трудностью подбора конденсаторов для реализации LC звена. Предлагается изготавливать конденсаторы из обрезков фольгированного материала для печатных плат. Важно, чтобы его ВЧ свойства были приемлемыми, а диэлектрическая проницаемость материала была высокой (от 6 до 12). К примеру, при использовании материала ФЛАН-10 или RO3010 (фирмы Rogers) могут быть изготовлены конденсаторы довольно небольших размеров с высокими

электрическими и ВЧ свойствами. При изготовлении конденсаторов с высокой емкостью можно использовать конденсаторы типа КСО в параллель с изготовленными для получения необходимых емкостей. Для цепи LC необходимы емкости: 10,20,40,80,160 пФ. Емкость изготовленных конденсаторов легко подстраивается откусыванием части обкладки боковым резом. После настройки, конденсаторы необходимо промыть в спирте, подписать (можно гелевой ручкой), хорошо высушить и залить эпоксидной смолой. Индуктивности LC цепи выполнены без каркаса, проводом ПЭЛШО диаметром 0,8 мм, после намотки и проверки индуктивности, витки скрепляются полиуретановым или цапонлаком. Не обязательно сохранять точно значение индуктивности, кратное 0,25. Важнее сохранить удвоение индуктивности при изготовлении, при этом на 11 мм каркасе необходимо намотать L4 4 витка, далее L5 6 витков, L6 9 витков, L7 13 витков. Проверить индуктивности с помощью измерителя LC, и если необходимо, скорректировать сжатием или растяжением витков. После этого необходимо скрепить витки лаком и установить на плату.

Настройку АТ необходимо начать не устанавливая МК в панельку (либо не запаивая его при использовании TQFP корпуса МК). Вначале проверяют правильность монтажа. Далее подается напряжение на инжектор и проверяется работа схемы контроля тока (VT3), для этого замыкают выход инжектора на корпус (L11). Реле К1 должно обесточиться и снять напряжение с выхода инжектора.

Далее инжектор присоединяется АТ, проверяется срабатывание реле К2 и напряжения после стабилизатора 5В. Присоединив трансивер ко входу инжектора и соединив кабелем произвольной длины инжектор и АТ необходимо подать напряжение с инжектора на АТ и подать ВЧ напряжение мощностью 5-10 Вт с трансивера. Необходимо проконтролировать напряжение на выходе детекторов напряжения на диагонали и входе моста – они не должны превышать 5 В! Далее, присоединяя на антенную клемму АТ различные нагрузки от 50 до 200 Ом убедиться в изменении напряжения на диагонали моста. Для проверки минимума напряжения на диагонали моста при присоединении вместо LC цепи 50 Ом резистора можно временно разорвать цепь между контактом реле К2 и входом LC цепи, к примеру, в точке установки разрядника. При правильном монтаже калибровка измерителя КСВ не требуется.

Программирование МК можно произвести с помощью программатора для SPI , установив МК в панельку и присоединив к разъему “PRGM” программатор. Вначале необходимо выполнить программирование EEPROM памяти, а затем FLASH памяти.

Фьюзы МК Atmega16 программируются только те, которые необходимы для установки работы с внутренним генератором 8 МГц (это фьюзы CKSEL =0100 и SUT=10) , так же необходимо установить EESAVE=0 и BODLEVEL=0. Остальные фьюзы оставляют неизменными.

После установки МК в панельку и его программирования, необходимо подать питание с инжектора, присоединить на антенную клемму нагрузку или реальную антенну, МК будет ожидать появления ВЧ напряжения на входе моста, далее подать ВЧ напряжение мощностью 5-10 вт с трансивера. После этого МК начинает перебор параметров LC цепи, это слышно на слух по срабатыванию реле. Через некоторое время настройка прекратится и загорится светодиод HL1, индицирующий готовность работы. Необходимо снова включить тумблером S1 питание на инжектор, при этом практически мгновенно загорится светодиод HL1, что при неизменной нагрузке АТ оставил значение LC без изменений.

Так же осуществляется настройка для второй нагрузки (антенны), после настройки АТ в памяти сохраняются настройки для этих нагрузок, Однако, если изменить частоту не переключая диапазон трансивера и снова включить АТ, может начаться настройка, ввиду изменения КСВ относительно того, что сохранен в ячейке памяти.