

Подавление синфазной помехи радиоприему

<http://sezador.radioscanner.ru/articles/cmreject.html>

В условиях неблагоприятной электромагнитной обстановки современного индустриального города прием амплитудно-модулированных сигналов радиостанций, работающих в диапазонах длинных, средних и коротких волн сильно затруднен. Источниками электромагнитных помех являются мощное электрооборудование промышленных предприятий, электротранспорт, осветительные приборы, компьютеры, бытовая техника и т.п. Использование для радиоприема в таких условиях именно магнитной антенны дает наилучшее соотношение сигнал/помеха на входе радиоприемника.

Связано это с иной структурой электромагнитного поля вблизи источника излучения, в так называемой ближней зоне. Ведь радиопередатчик радиостанции удален от радиоприемника на десятки, сотни и тысячи километров, а расстояние до источника электромагнитной помехи часто не превышает десятых долей длины волны. При этом антенна радиоприемника оказывается в ближней зоне излучения источника помехи, по мере приближения к которому модуль вектора напряженности магнитной составляющей электромагнитного поля помехи растет пропорционально $1/r^2$ (где r — это расстояние до источника излучения), а модуль вектора напряженности электрической составляющей — пропорционально $1/r^3$, то есть быстрее. Другими словами, чем ближе источник помехи, тем более явно в излучаемом им электромагнитном поле электрическая составляющая преобладает над магнитной, причем с увеличением длины волны эта особенность проявляется в большей степени [1]. Для дальней зоны, где $r \gg \lambda$ (где λ — это длина волны), этот эффект отсутствует. Поэтому использование магнитной приемной антенны, нечувствительной к электрической составляющей электромагнитного поля, и обладающей к тому же направленными свойствами, которые позволяют путем соответствующей ориентации в пространстве дополнительно отстраиваться от мешающего радиоприему излучения [5], является более предпочтительным в условиях сильных индустриальных и бытовых электромагнитных помех.

Для реализации своего преимущества приемная магнитная антенна, как отмечено в [1], не должна иметь выраженных свойств электрической антенны. Для этого:

- магнитная антенна должна иметь по возможности меньшие размеры;
- предпочтительным является симметричное расположение витков обмоток и других токопроводящих элементов магнитной антенны;
- желательно электрическое экранирование магнитной антенны.

Наименьшие размеры магнитной антенны получаются если ее выполнить в виде небольших по размерам катушек индуктивности, размещенных, например, на ферритовом стержне. Марка феррита должна соответствовать рабочему диапазону частот приемной антенны.

Второе требование связано с тем, что ЭДС помехи, наводимая на токопроводящих элементах магнитной антенны, носит синфазный характер. Эффективное подавление возникающей синфазной помехи обеспечивает дифференциальный каскад между симметричной магнитной антенной и входом радиоприемника.

Электрический экран магнитной антенны представляет собой незамкнутый виток из проводящего материала поверх витков магнитной антенны. Кроме уменьшения уровня ЭДС помехи проводящий экран «выравнивает» напряженность создающего помеху электрического поля вдоль всей пространственной протяженности витков магнитной антенны. Такое равномерное распределение напряженности электрического поля особенно важно, когда габаритные размеры составляющих магнитную антенну катушек индуктивности соизмеримы с расстоянием до источника помехи. Различное расстояние от источника помехи до противоположных элементов магнитной антенны приводит к тому, что на ее выводах наводится различная ЭДС помехи, появляется дифференциальная составляющая, которая дифференциальным каскадом не

подавляется, а усиливается. Воспрепятствовать этому эффекту и призван электрический экран, который иногда даже не подсоединяют к общему проводу схемы.

Выполнение первого и третьего требований обеспечивает соответствующее конструктивное исполнение магнитной антенны. Остановимся на способах эффективного подавления синфазной помехи, наводимой электрической составляющей излучаемого источником помехи электромагнитного поля.

Как уже было отмечено выше, подавление синфазной помехи должен осуществлять дифференциальный каскад между симметричной магнитной антенной и входом радиоприемника. Для проведения экспериментов по выявлению того или иного влияния синфазной помехи на радиоприем была собрана приведенная на рис.1 схема.

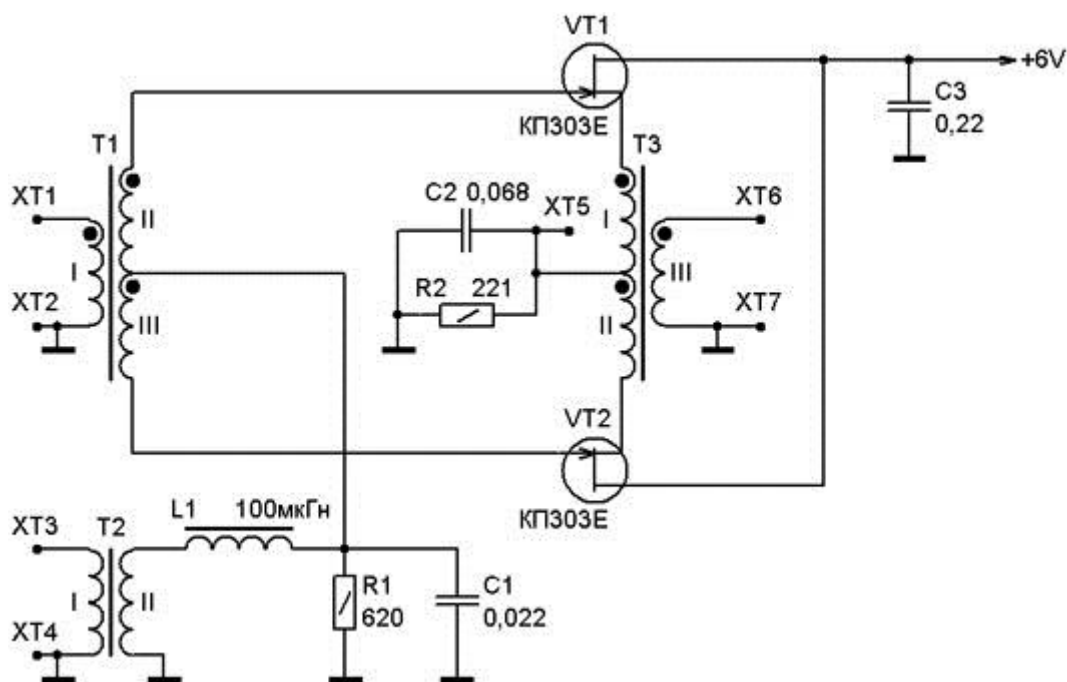


Рис.1

В области высокой частоты ($f_D > 100 \text{ kHz}$) схема работает как двухтактный истоковый повторитель, каждое из плеч которого нагружено на свою половину первичной обмотки согласующего высокочастотного трансформатора $T3$. Выходной сигнал снимается со вторичной обмотки этого трансформатора через клеммы $XT6$ и $XT7$. Входной сигнал высокой частоты с клемм $XT1$ и $XT2$ подается на первичную обмотку высокочастотного фазоинвертирующего трансформатора $T1$, а противофазные сигналы с его вторичной обмотки подаются на затворы транзисторов $VT1$ и $VT2$. Средняя точка вторичной обмотки трансформатора $T1$ по высокой частоте подсоединена к общему проводу схемы через конденсатор $C1$, а по постоянному току — через включенные параллельно резистор $R1$ и цепь $L1:(T2.II)$. Рабочая точка по постоянному току устанавливается резистором $R2$. С клемм $XT3$ и $XT4$ через низкочастотный трансформатор $T2$ на среднюю точку вторичной обмотки трансформатора $T1$ подается низкочастотный ($f_C < 12 \text{ kHz}$) сигнал, который для двухтактного истокового повторителя является синфазным. Этот сигнал имитировал низкочастотную синфазную помеху. Низкочастотную синфазную составляющую выходного сигнала можно наблюдать в точке $XT5$.

Выбор схемы истокового повторителя связан с тем, что дифференциальные каскады на полевых транзисторах чаще других применяются в качестве входных при использовании магнитных антенн, так как они, обладая очень высоким входным сопротивлением, не шунтируют резонансную систему магнитной антенны и не ухудшают ее добротность.

Чтобы дифференциальный каскад эффективно подавлял синфазную составляющую входного сигнала необходимо обеспечить симметрию его плеч. С этой целью в схеме на рис.1 были применены подобранные по начальному току стока полевые транзисторы. Кроме того, намотка

высокочастотных трансформаторов $T1$ и $T3$ выполнялась на кольцевых ферритовых сердечниках скрученным вдвое обмоточным проводом.

Для имитации высокочастотной синфазной помехи на клеммы $XT1$ и $XT2$ был подан сигнал частотой $3,25\text{ MHz}$ и уровнем 500 mV , а оба затвора транзисторов $VT1$ и $VT2$ были подсоединены к одному из крайних выводов вторичной обмотки трансформатора $T1$. Уровень высокочастотного сигнала на выходе составил $1,85\text{ mV}$. Коэффициент передачи высокочастотного сигнала составил таким образом:

$$G_{сф} = 20 \cdot \lg \frac{1,85\text{ mV}}{500\text{ mV}} = -48,6\text{ dB}$$

Для имитации низкочастотной синфазной помехи схема снова была приведена в соответствие рис.1, на клеммы $XT1$ и $XT2$ был подан тот же сигнал, а на клеммы $XT3$ и $XT4$ — синусоидальный сигнал частотой 10 kHz и уровнем 500 mV . Осциллограмма наблюдавшегося при этом сигнала на затворах транзисторов $VT1$ и $VT2$ приведена на рис.2.

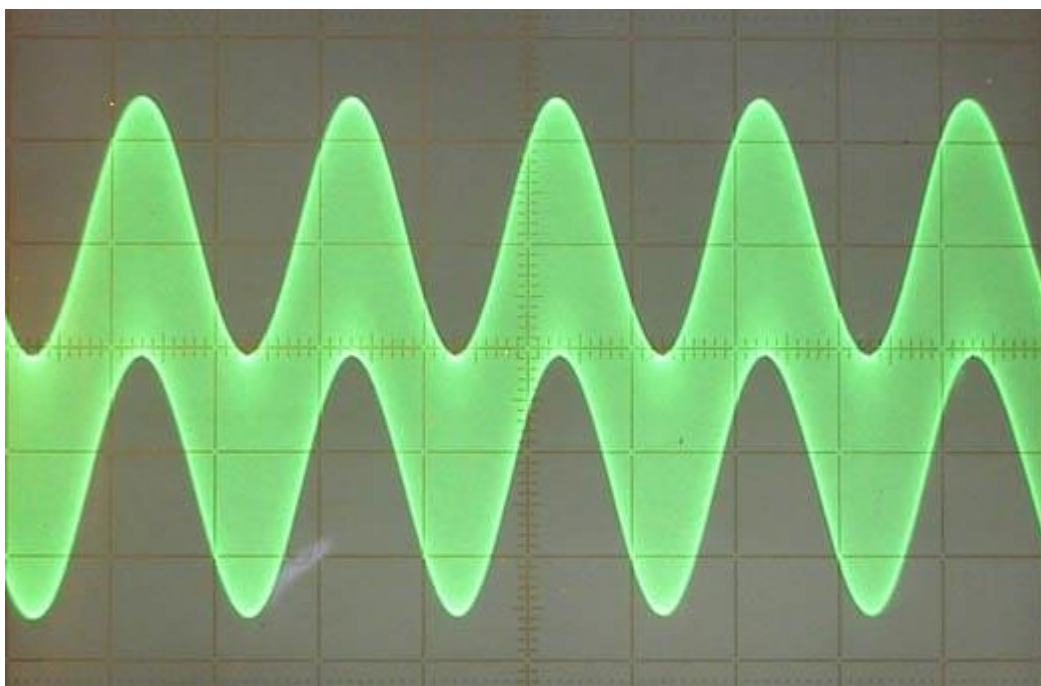


Рис.2

В результате низкочастотный синфазный сигнал, периодически изменяя рабочую точку транзисторов $VT1$ и $VT2$, а значит и их крутизну, промодулировал выходной высокочастотный сигнал как показано на осциллограмме на рис.3.

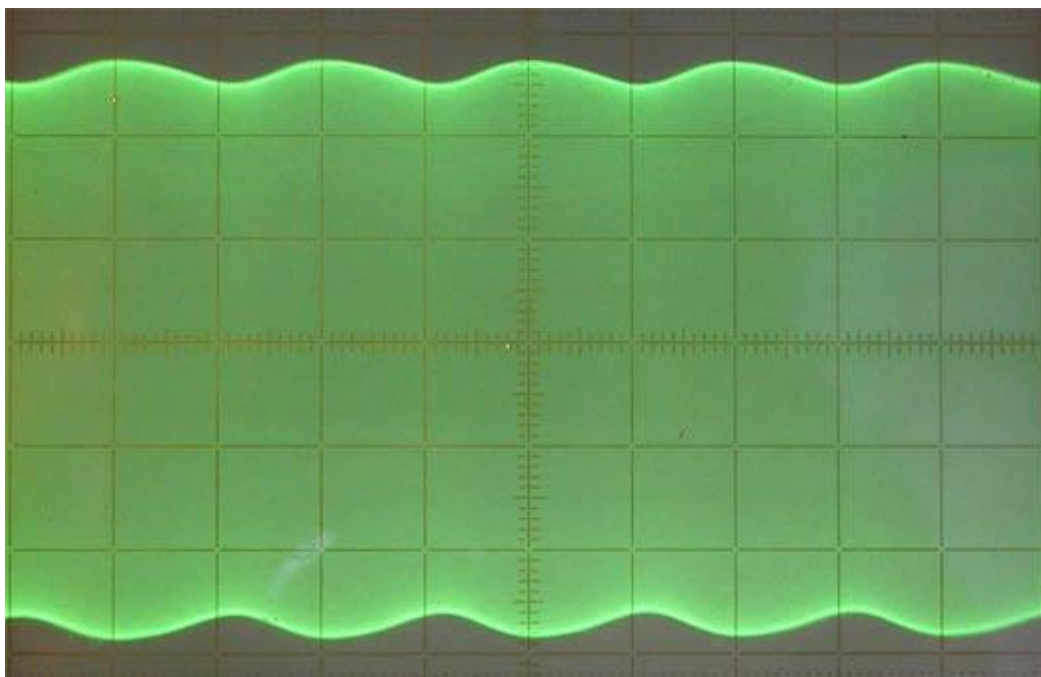


Рис.3

Коэффициент модуляции при этом зависит только от амплитуды синфазной помехи и в данном случае составил около 5%. Если вспомнить, что максимально допустимый уровень модуляции несущей радиовещательных станций составляет 30%, то легко посчитать уровень звукового сигнала на выходе радиоприемника, вызванного такой низкочастотной синфазной помехой на его входе:

$$M_{сф} = 20 \cdot \lg \frac{5\%}{30\%} = -15,6dB,$$

причем независимо от уровня полезного сигнала. Следует также отметить, что многие радиоприемники со встроенной магнитной антенной и вовсе не имеют на входе дифференциального каскада, подавляющего синфазную помеху.

Такое проникновение мощной низкочастотной синфазной помехи на вход радиоприемника может сделать прием совершенно невозможным. В условиях, например, обыкновенной наводки с частотой питающей сети 50 Hz прослушивание какой-либо радиопередачи в диапазоне средних волн сопряжено с сильным низкочастотным гудением и треском, что автор этих строк неоднократно наблюдал при использовании радиоприемников различных типов. Чтобы просто оценить возможный уровень низкочастотной наводки на затворах полевых транзисторов достаточно вставить в высокоомный вход осциллографа входящий в его комплект коаксиальный кабель с двумя штеккерами (см. рис.4, чувствительность вертикальной развертки составляла 0,02 Вольт/дел.).

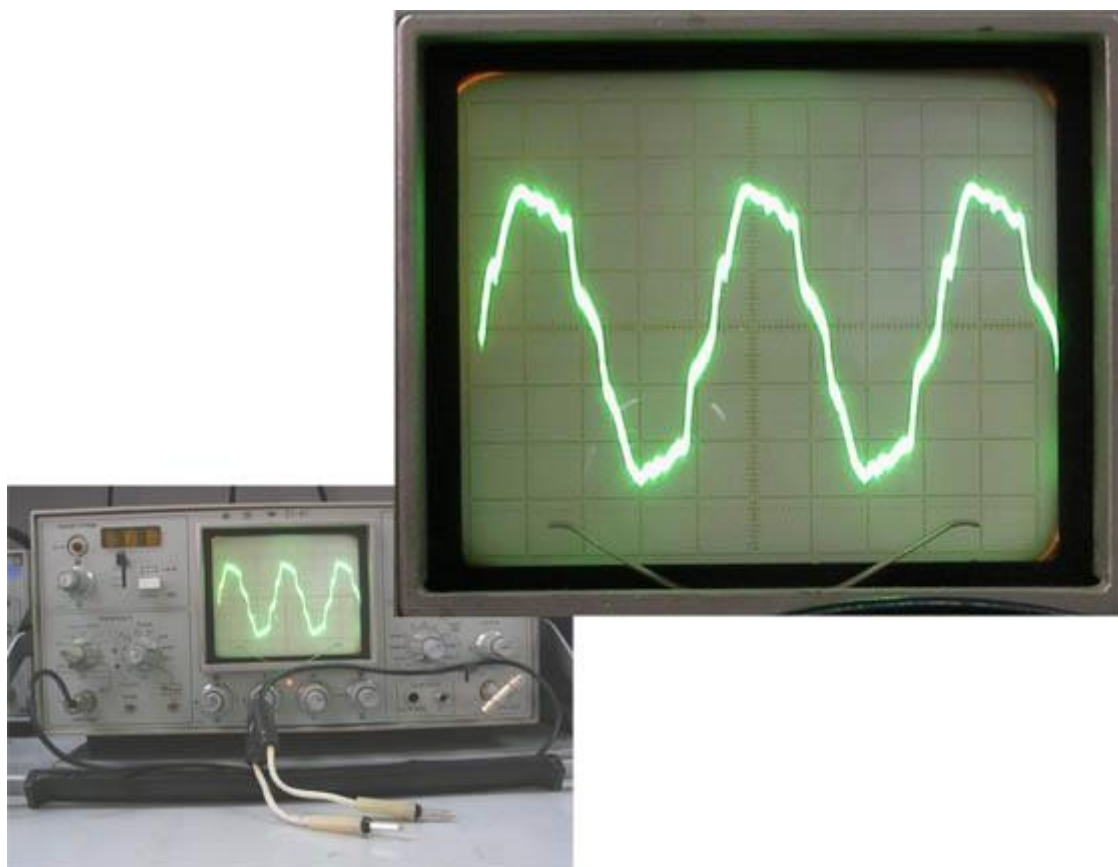


Рис.4

С низкочастотной синфазной наводкой необходимо бороться по меньшей мере двумя методами одновременно:

конструкция и электрическая схема магнитной антенны должны быть выполнены таким образом, чтобы препятствовать возникновению низкочастотной синфазной помехи на входе дифференциального каскада или хотя бы сводить ее уровень до минимума, с тем, чтобы он не превышал максимально допустимый для данного дифференциального каскада;

подключаемый к магнитной антенне дифференциальный каскад не должен допускать паразитную модуляцию полезного сигнала низкочастотной синфазной помехой.

Большое значение имеет способ подачи сигнала с антенны на высокоомный вход дифференциального каскада. Часто в погоне за чувствительностью применяют непосредственное подключение колебательного контура магнитной антенны к затворам полевых транзисторов дифференциального каскада, не заботясь при этом об уровне наводимой низкочастотной синфазной помехи. Например, представленные на рис.5 схемы нельзя признать удачными. Они построены таким образом, что высокое входное сопротивление выполненного на полевых транзисторах дифференциального каскада, с одной стороны, не шунтирует колебательный контур резонансной магнитной антенны, но, с другой стороны, не шунтирует и паразитную электрическую «антенну», образованную теми же катушками индуктивности контура. Наведенная на них ЭДС синфазной помехи не подавляется и поступает на затворы полевых транзисторов, вызывая описанную выше паразитную модуляцию.

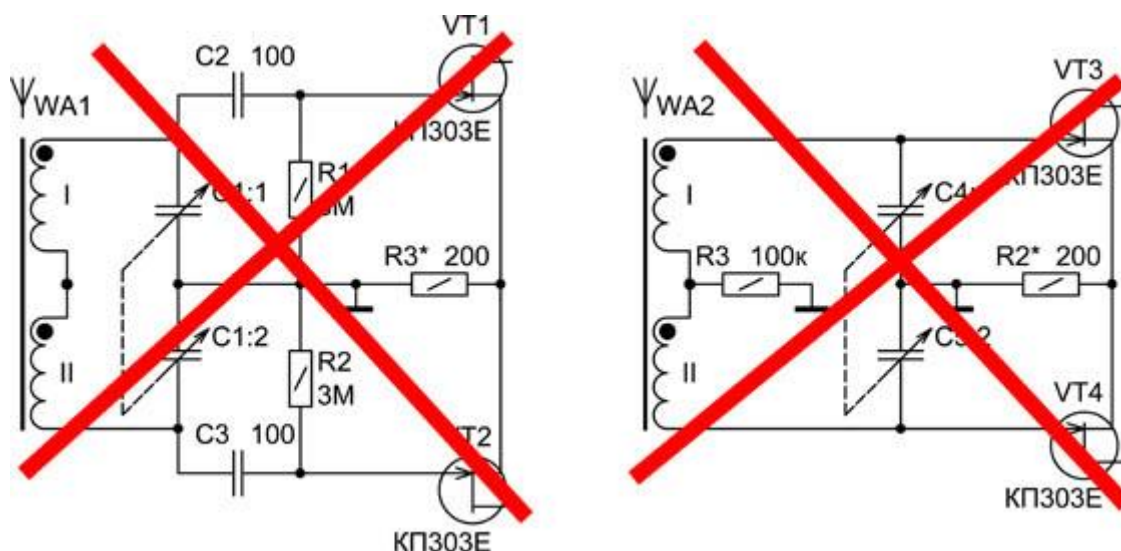


Рис.5

Для подавления низкочастотной синфазной помехи на высокоомном входе дифференциального каскада оптимальным представляется такое построение связи с резонансной системой магнитной антенны, когда вносимое в колебательный контур антенны шунтирующее воздействие входа дифференциального каскада на частоте полезного сигнала было бы минимальным, а для низкочастотной синфазной помехи — максимальным. На рис.6 представлена схема такой магнитной антенны.

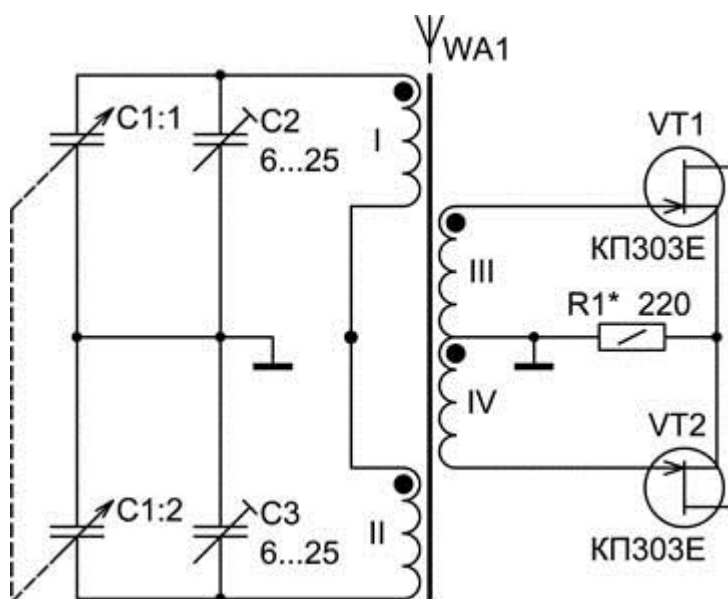


Рис.6

Синфазная помеха, наводимая на контурных катушках I и II магнитной антенны WA1, тока в контуре не создает и поэтому на вход дифференциального каскада не проникает. Напротив, полезный сигнал, на частоту которого настроен контур, создает в нем контурный ток, выделяется на противоположных выводах катушки связи и поступает на затворы транзисторов дифференциального каскада. Наводимая же на катушке связи низкочастотная синфазная помеха шунтируется малым сопротивлением катушки.

Хорошо показала себя в работе изготовленная автором по приведенной на рис.6 схеме ферритовая магнитная антенна для приема радиопередач в диапазоне средних волн. Конструкция антенны представлена на рис.7.

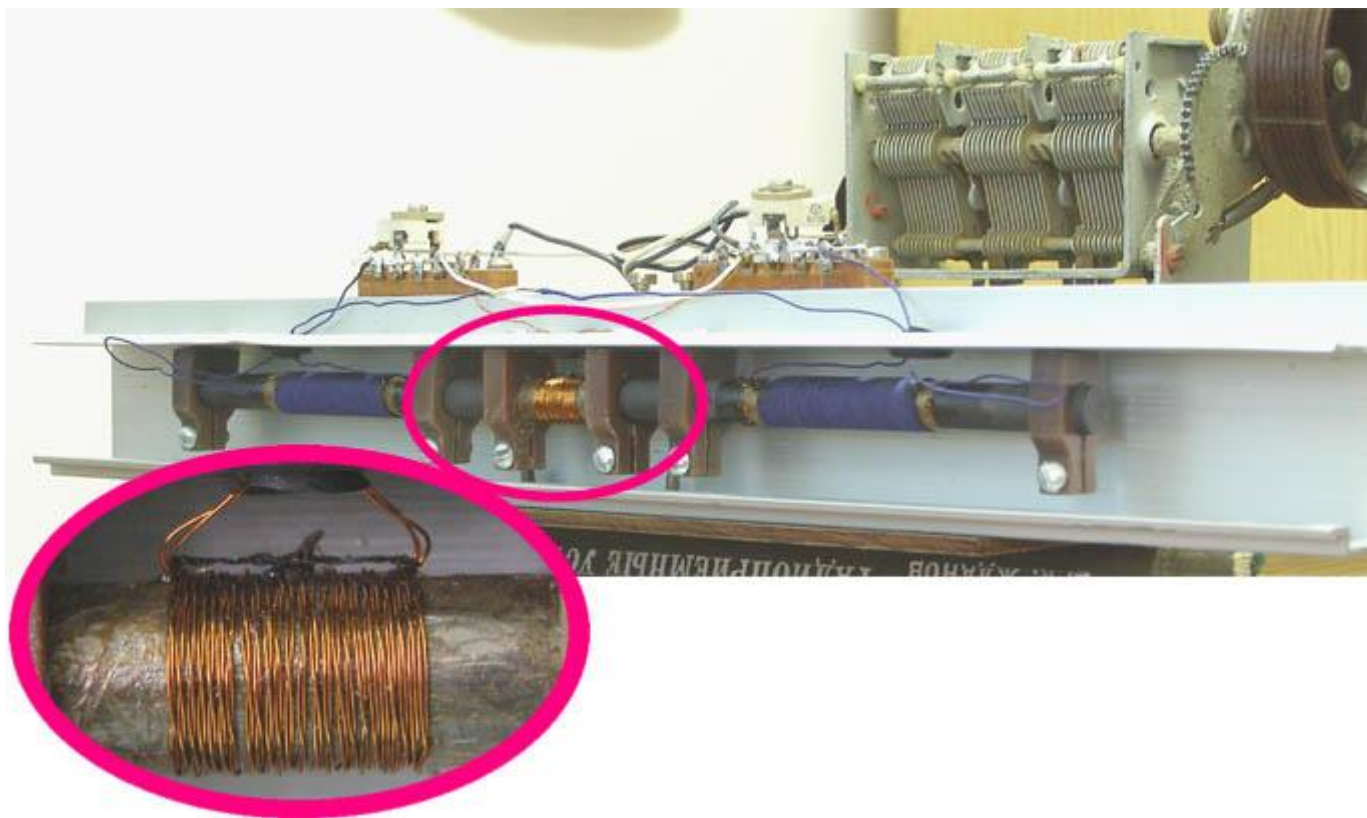


Рис.7

Антенна состоит из двух контурных катушек и одной катушки связи, намотанных каждая на отдельном ферритовом стержне диаметром 8 мм и марки *M400НН*. Для контурных катушек были взяты стержни длиной 100 мм, а для катушки связи — обломок длиной 32 мм. Стержни закреплены как показано на рис.7 и прижаты друг к другу торцами. По центру размещена катушка связи, намотанная скрученным вдвое с шагом около 2-3 скруток на сантиметр длиной проводом *ПЭВ-2 0,18*. Намотанная таким образом катушка содержит 24+24 витка. После намотки выводы катушки связи соединяют так, чтобы их фазировка соответствовала схеме на рис.6. Сигнал с катушки связи поступает на вход двухтактного истокового повторителя, а с него через коаксиальный кабель — на предназначенный для подключения антенны и заземления вход радиоприемника. Индуктивность одинаковых контурных катушек *I* и *II* рассчитывается исходя из требуемого диапазона частот принимаемых сигналов и пределов перестройки контурного конденсатора переменной емкости *C1*. В данном случае контурные катушки содержат по 68 витков провода *ПЭЛШО 0,35*. Катушки размещены посередине своего ферритового стержня. Чтобы соблюсти приведенную на рис.6 фазировку катушки наматывают так, чтобы при сборке антенны намотка одной катушки как бы продолжала намотку другой. Конденсатор переменной емкости *C1*, которым антенна настраивается в резонанс с принимаемым сигналом, — с воздушным диэлектриком от лампового радиоприемника, но подойдет и с твердым диэлектриком от транзисторного. Конденсаторы *C2* и *C3* служат для укладки высокочастотной границы рабочего диапазона, а также для установки симметрии обеих частей контура антенны (*C1.1/C2/WA1.I*) и (*C1.2/C3/WA1.II*). В качестве электрического экрана использован отрезок дюралюминиевого профиля.

Антенна использовалась совместно с ламповым радиоприемником «Мир-154» и хорошо себя зарекомендовала. Ориентируя ее в пространстве на минимум помех как правило удавалось добиться того, что в приемнике был слышен только атмосферный шум и собственно принимаемая радиостанция. При соответствующем подключении антенну можно использовать с радиоприемниками других типов, а также с широко распространенными стационарными музыкальными центрами вместо малоэффективной нерезонансной рамочной антенны, которой они комплектуются для радиоприема в диапазоне средних волн.

Рассмотрим теперь способ подавления паразитной модуляции полезного сигнала низкочастотной синфазной помехой в построенном на полевых транзисторах дифференциальном каскаде. Как указано в [2], коэффициент передачи схем на полевых транзисторах в режиме малого сигнала зависит от крутизны транзистора, которая, в свою очередь, является функцией тока стока. Действие синфазного сигнала на входе дифференциального каскада по схеме на рис.1 приводит к синфазному изменению токов стока полевых транзисторов, а значит и к синфазному изменению их крутизны. Таким образом коэффициент передачи схемы управляется синфазным сигналом, что и приводит к показанной на рис.3 паразитной модуляции. Для ее подавления необходимо, чтобы крутизна транзистора не изменялась под действием синфазного сигнала. Этого можно добиться стабилизацией токов стока полевых транзисторов.

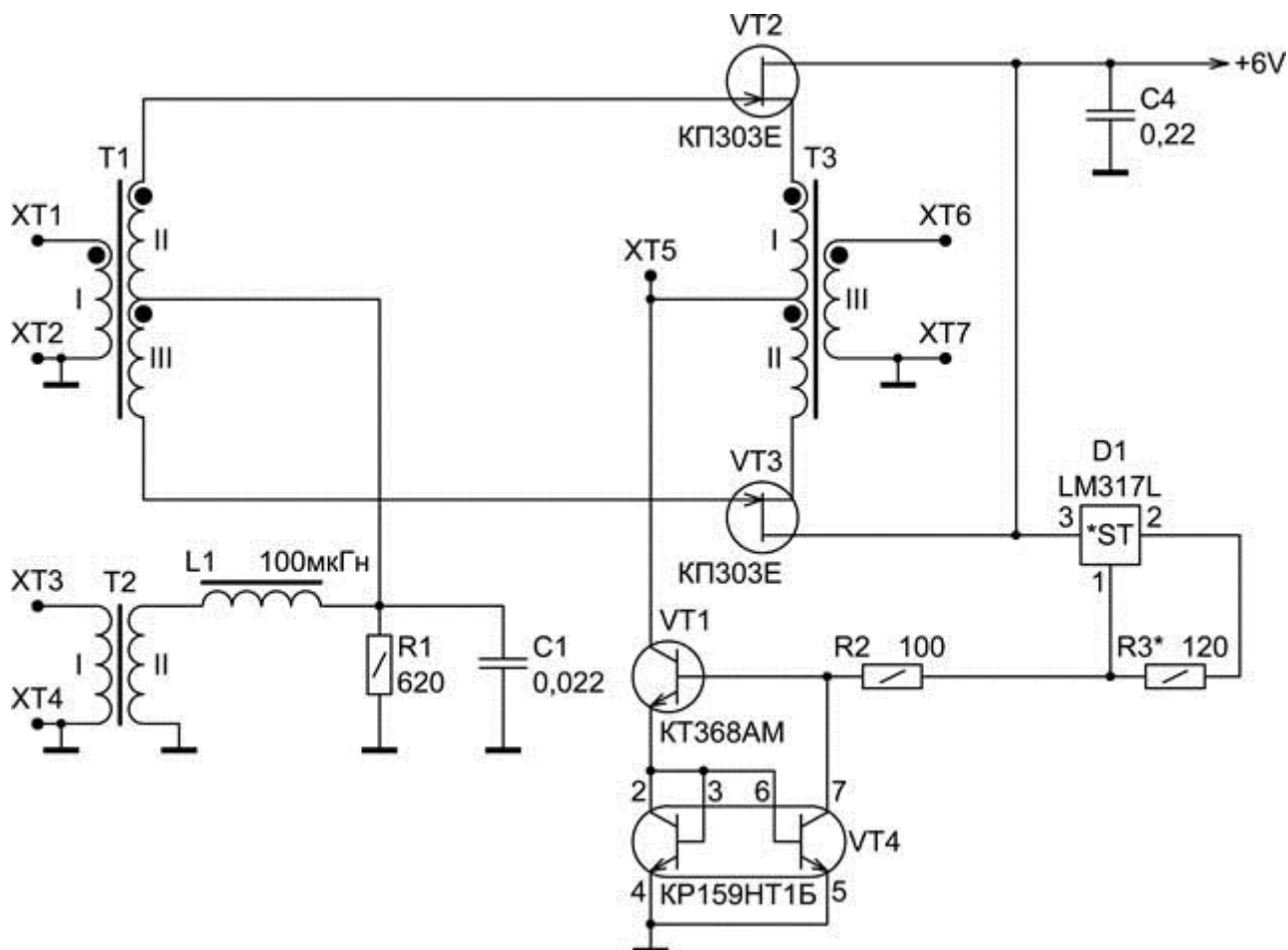


Рис.8

На рис.8 приведена схема дифференциального каскада, в котором вместо резистора в цепи истока применен стабилизатор тока на биполярных транзисторах. Ток коллектора транзистора VT1 равен сумме токов стока полевых транзисторов VT2 и VT3 и задается током через правый по схеме транзистор транзисторной сборки VT4, источником стабильного тока для последнего служит схема стабилизации тока на микросхеме D1. Требуемый ток коллектора транзистора VT1 устанавливается резистором R3. Он примерно равен:

$$I_{VT1} = \frac{1,25V}{R3}$$

Так как рабочая точка транзисторов устанавливается стабилизатором тока на микросхеме D1 и не зависит от напряжения питания, то значение последнего может лежать в пределах от +6 В до +15 В.

Испытания каскада со стабилизатором тока на устойчивость к синфазной помехе проводились при тех же условиях, что и для схемы на рис.1, при том же режиме по постоянному току. При этом коэффициент передачи высокочастотного синфазного сигнала практически не изменился и

составил $-45,4 \text{ dB}$. А вот паразитную модуляцию, вызванную низкочастотным сифазным сигналом, удалось значительно ослабить, как это хорошо видно из осциллограммы на рис.9.

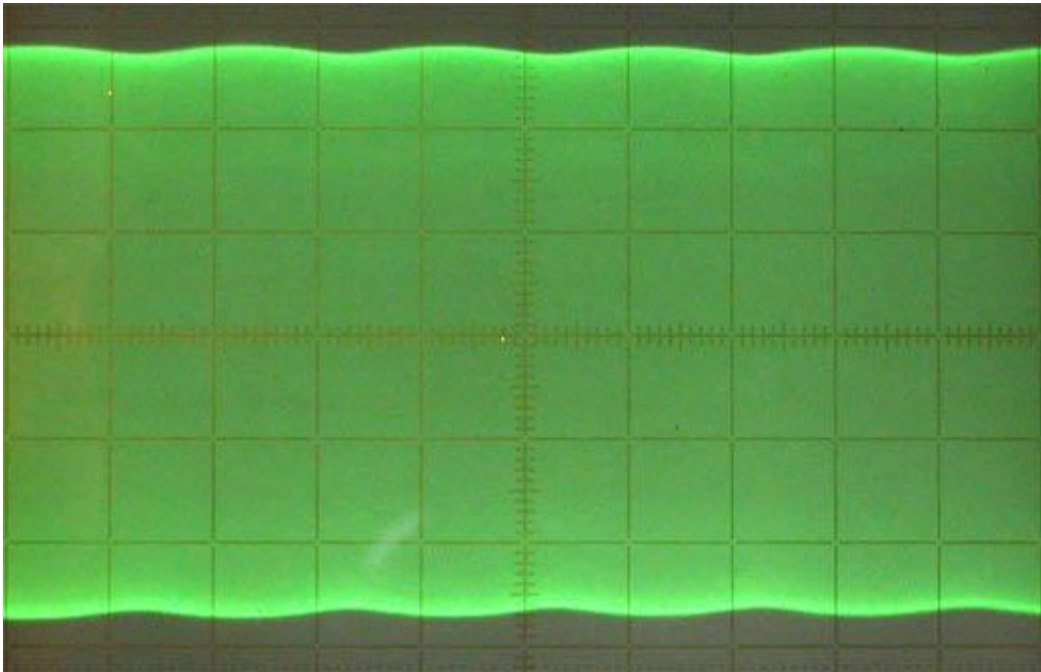


Рис.9

При питании схемы на рис.8 от стабилизированного источника ее можно упростить исключив стабилизатор тока на микросхеме $D1$ как показано на рис.10. Ток коллектора транзистора $VT1$ при этом будет примерно равен:

$$I_{VT1} = \frac{U_{VCC} - 1,2V}{R1},$$

где U_{VCC} — это напряжение питания схемы.

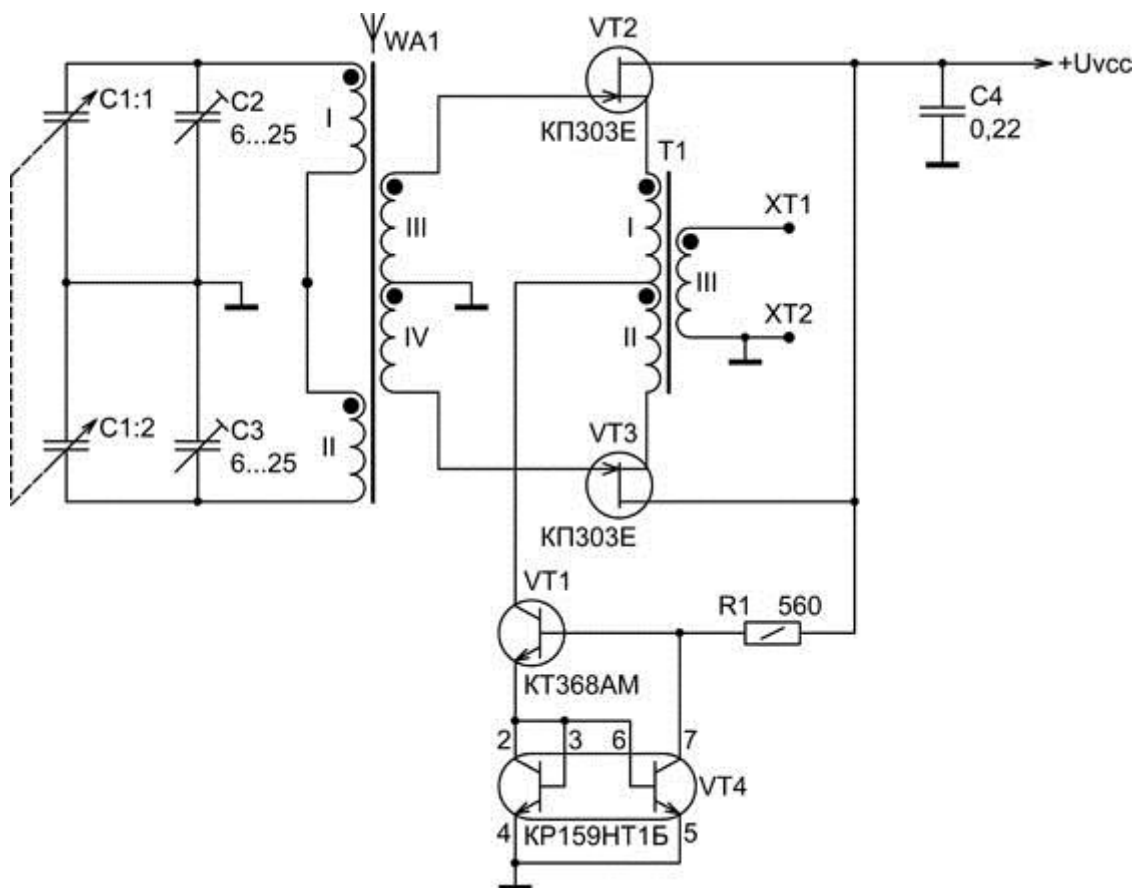


Рис.10

Можно значительно расширить динамический диапазон каскада по синфазной составляющей входного сигнала, применив двуполярное питание как показано на рис.11. Кроме того, двуполярное питание дает возможность применять полевые транзисторы с малым напряжением отсечки, тогда как для схем на рис.8 и рис.10 оно должно быть не менее 3 В.

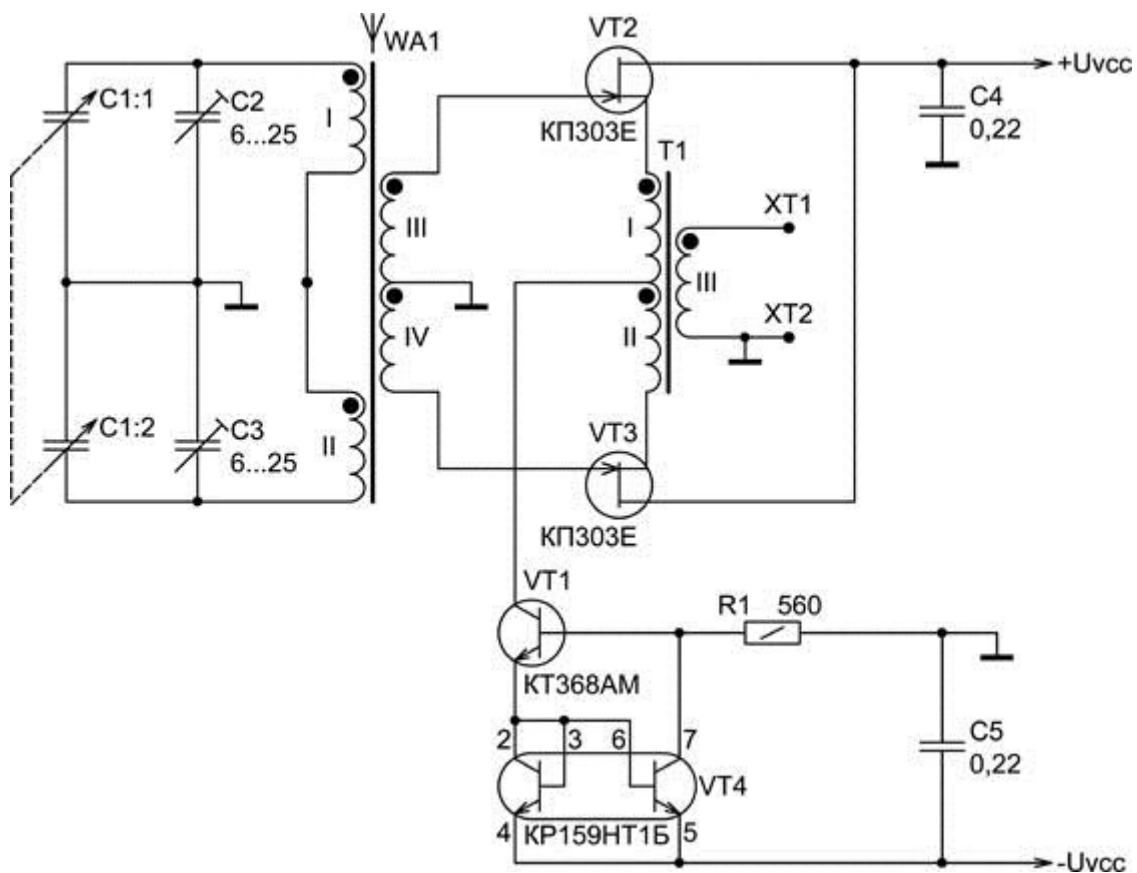


Рис.11

Несколько слов следует сказать об установке рабочей точки полевых транзисторов в дифференциальном каскаде. Наибольший максимально допустимый уровень синфазной составляющей входного сигнала обеспечивается когда ток стока транзисторов составляет около двух пятых от начального тока стока. Поэтому требуемое значение коллекторного тока транзистора VT1 в схемах на рис.8 и рис.10 рассчитывают так:

$$I_{VT1} = 2 \cdot 0,4 \cdot I_{DS} = 0,8 \cdot I_{DS}$$

где I_{DS} — начальный ток стока полевых транзисторов.

Чтобы не подбирать полевые транзисторы по начальному току стока, в схеме можно использовать транзисторные сборки, состоящие из двух идентичных по своим параметрам полевых транзисторов, такие как, например, U440 производства фирмы Vishay.

Транзисторы КП303Е в схемах на рис.8, рис.10 и рис.11 можно заменить на любые другие n -канальные высокочастотные полевые транзисторы, например серий КП303 и КП307. При однополярном питании (см. рис.8 и рис.10) напряжение отсечки полевых транзисторов должно быть не менее 3 В. Транзистор КТ368АМ и транзисторную сборку КР159НТ1Б можно заменить транзисторами КТ315Б,Г.

В статье приведены действующие значения напряжений сигналов.

©Журнал «Радиоаматор» №1 за 2008г., г.Киев

©Задорожный Сергей Михайлович, 2007г.

Литература:

Курочкин А.Е., Теоретические основы активных магнитных антенн: учебно-методическое пособие по дисциплине «Радиоприемные устройства» для студентов специальности «Радиотехника»; БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ, Министерство образования Республики Беларусь; Минск, 2002 г.;

Титце У., Шенк К., Полупроводниковая схемотехника: справочное руководство, пер. с нем.-М.: Мир, 1982;

Хлюпин Н., Приемная рамочная антенна. — Радио, 1988, №8, стр.20-22;

Активная КВ антенна — Радио, 2000, №5, стр.52 (Joachim Schwender, Aktive Schleifantenne für Empfang. — Funkamateurl, 1999, №7, S. 787-789);

Поляков В., Пространственная селекция сигналов. — Радио, 1999, №5, стр.20-21;

Андрианов В., Активная антенна диапазонов ДВ, СВ и КВ. — Радиолюбби, 1998, №4, стр.31-32.

В.А.Котельников, А.М.Николаев, «ОСНОВЫ РАДИОТЕХНИКИ», Часть I, ГЛАВА 6: «АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ КОНТУРЫ» М.; Связьиздат, 1950г.