

# СНИЖЕНИЕ ПОМЕХ В ИП УМЗЧ

**Н**ередки ситуации, когда помехи от сетевых источников питания (ИП) существенно ухудшают качественные показатели питаемых от этих ИП устройств. Эти помехи могут распространяться как по цепям питания, так и наводиться на расположенные недалеко от ИП высокочувствительные проводники и элементы устройства. Львиную долю этих помех вызывают переходные процессы в цепях ИП при работе выпрямителей. Поставщиком довольно мощных помех зачастую является и сама сеть.

Электромагнитное поле помех возникает от сетевого трансформатора, дросселей фильтра, силовых проводников, соединяющих трансформатор с диодами и накопительными конденсаторами, а в УМЗЧ еще и от питающих выходной каскад силовых цепей. Напряжение наведенной на элементы помехи пропорционально скорости изменения внешнего электромагнитного поля, поэтому основным источником наведенных помех оказываются высокочастотные составляющие этого поля. Но именно ВЧ возмущения наиболее опасны для охваченных петлями ООС устройств, а выявить их деструктивную "деятельность" довольно сложно [1].

Борьба с возникающими при работе выпрямителей помехами зачастую ограничивается применением быстродействующих диодов. Хотя это и снижает остроту проблемы, но не решает ее полностью. Дело в том, что, кроме динамической емкости диодов (накопления заряда в переходе открытого диода), есть еще один "виновник" возникновения высокочастотных составляющих: индуктивность рассеяния вторичной обмотки трансформатора ( $L_{p2}$ ). Если бы  $L_{p2}$  и сетевые помехи отсутствовали, то напряжение на диодах при частоте сети 50 Гц и вы-

ходном напряжении трансформатора 10...30 В изменялось бы достаточно медленно. Наличие же  $L_{p2}$ , с одной стороны, приводит к замедлению открывания диодов, что, конечно же, благо, но, с другой, — к скачкообразному изменению полярности протекающего через диоды тока при их закрывании. Это приводит к обогащению спектра протекающего через накопительный конденсатор тока высшими гармониками и к высокочастотному "звону" обмоток трансформатора и проводников, соединяющих трансформатор с диодами и накопительными конденсаторами.

Применение быстродействующих диодов приводит к снижению уровня ВЧ-помех в выходном напряжении ИП и в поле рассеяния трансформатора примерно на порядок, однако их спектр остается столь же широким, как и при использовании низкочастотных диодов. Он простирается до сотен килогерц, а иногда и до единиц мегагерц. Амплитуда импульсов ВЧ-помех в выходном напряжении ИП при использовании быстродействующих диодов составляет всего несколько десятков милливольт, поэтому на фоне низкочастотных пульсаций в единицы вольт на них обычно не обращают внимание. И напрасно! Эти ВЧ-помехи почти беспрепятственно проникают на выход УМЗЧ, а затем по петле ООС и на его вход, где амплитуда паразитного сигнала даже в доли милливольт может нарушить нормальную работу усилителя.

В ходе анализа особенностей работы УМЗЧ и условий возникновения наводок установлено, что влияние генерируемых ИП помех на параметры УМЗЧ значительно снижается при ограничении спектрального состава пульсаций в выходном напряжении ИП до 1...3 кГц, а в излучаемом в окружающее про-

странство поле помех — до 5...15 кГц. Эти данные легли в основу предлагаемого комплекса мер по снижению помех ИП. При его разработке ставилась задача не только ограничить спектральный состав помех, но и максимально снизить их уровень с помощью сравнительно простых и доступных технических решений.

Как уже упоминалось, порождаемые работой диодов помехи эффективно подавляются при уменьшении скорости изменения прикладываемого к ним напряжения, а также демпфировании остаточных колебательных процессов в обмотках трансформатора и соединительных проводах, возникающих при закрытии диодов. Довольно часто для этого диоды шунтируют конденсаторами, емкость которых обычно равна единицам-десяткам нанофарад. Однако конденсаторы столь малой емкости оказывают положительное влияние на работу диодов только в ИП мощностью в единицы ватт. В мощных же ИП "усмирить" накопленную в  $L_{p2}$  энергию под силу лишь конденсатору емкостью в единицы и даже десятки микрофарад. Понятно, что конденсаторы такой емкости включать параллельно диодам нецелесообразно, но, как выяснилось, ничто не мешает включить аналогичный конденсатор параллельно вторичной обмотке трансформатора.

Теперь во время закрытого состояния диодов на накопительный конденсатор не проникают сетевые помехи вместе со "звоном" обмоток трансформатора, он не разряжается протекающим через шунтирующий конденсатор током, а образованный  $L_{p2}$  и шунтирующим конденсатором ФНЧ препятствует проникновению на накопительный конденсатор ВЧ-составляющих сетевых помех в моменты открытого состояния диодов.

В ходе экспериментальных исследований установлено, что импульсы обратного тока через закрывающиеся низкочастотные диоды перестают образовываться в случае, когда емкость шунтирующего конденсатора выбрана из условия протекания через него реактивного тока, равного 0,3...1% тока нагрузки. В ИП мощностью 50...200 Вт с выходным напряжением 15...35 В это условие выполняется при емкости конденсатора 3...20 мкФ, причем подключение параллельно вторичной обмотке трансформатора конденсатора указанной емкости не приводит к увеличению потребляемого ИП от сети тока, а наоборот, немного его уменьшает. Особенно это заметно в режиме холостого тока (из-за фазовых сдвигов происходит частичная или полная компенсация первой гармоники холостого тока трансформатора).

Максимальный выигрыш в уменьшении холостого тока трансформаторов заводского изготовления происходит обычно при включении конденсатора, через который протекает реактивный ток, составляющий 5...15% от номинального тока вторичной обмотки. Однако конденсатор такой емкости, помимо больших габаритов и цены, создает ощутимую нагрузку обмоток трансформатора этим реактивным током. Если число витков всех обмоток трансформатора увеличено на 15...20%, как рекомендовано в [2], то минимизация холостого тока (почти полная компенсация первой гармоники) происходит примерно при емкости конденсато-

ра, при которой перестают образовываться импульсы обратного тока через низкочастотные диоды. Это еще один аргумент в пользу применения таких трансформаторов для питания выпрямителей.

Подключение конденсатора параллельно вторичной обмотке (если обмотка со средней точкой, то включают два) приводит к ограничению спектра порождаемых работой диодов помех в выходном напряжении ИП и в токе вторичной обмотки до 5...15 кГц. Экспоненциально затухающий "звон" длительностью около 1 мс в обмотках трансформатора конденсатор не устраняет, зато приводит к снижению частоты его заполнения с 200...500 кГц до 3...10 кГц. Этот "звон" можно подавить включением последовательно с конденсатором резистора сопротивлением несколько ом, но при этом вновь образуются импульсы обратного тока через низкочастотные диоды. Поэтому подавлять "звон" следует с помощью отдельных демпфирующих RC-цепочек ( $R1-C1$  и  $R2-C2$  на рис.1а). Емкость конденсатора в них должна быть больше емкости шунтирующего в 3...5 раз, а сопротивление резистора — примерно равно минимальному сопротивлению нагрузки ИП. Если от ИП питается один УМЗЧ, то

$$R1=R2=R=(0,5...1,0)R_{вх гр},$$

где  $R_{вх гр}$  — входное сопротивление громкоговорителя.

Суммарная емкость шунтирующего и демпфирующего конденсаторов выбирается из условия протекания через них полного реактивного тока, составляющего 1...3% от максимального тока нагрузки.

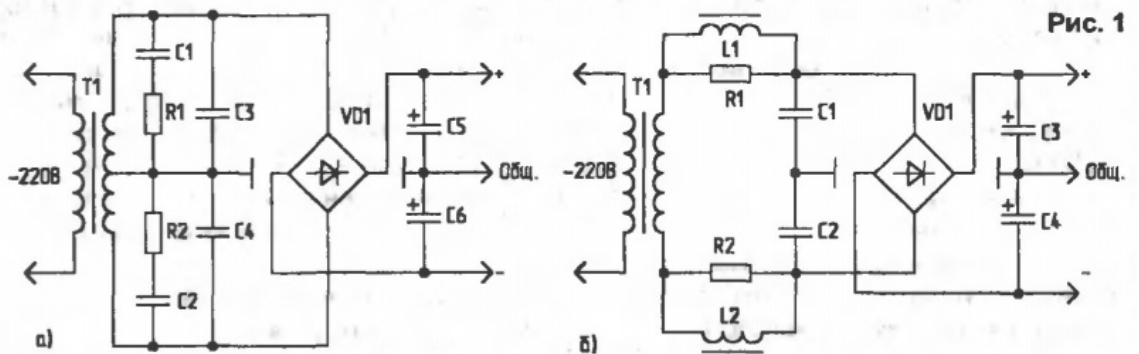


Рис. 1

Подавить "звон" можно и с помощью параллельной RL-цепи, включенной последовательно с вторичной обмоткой трансформатора (R1-L1 и R2-L2 на рис.16). Сопротивление R находят из тех же соотношений, что и в предыдущем случае, а величину  $L1=L2=L$  выбирают в 2...5 раз большей  $L_{P2}$ . Индуктивность  $L_{P2}$  можно измерить, замкнув первичную обмотку трансформатора. Но лучше ее вычислить, измерив частоту "звона" при подключении параллельно вторичной обмотке конденсатора известной емкости (например, 10 мкФ), причем выпрямитель и эквивалент нагрузки тоже включены. Наблюдать поле рассеяния трансформатора и силовых проводников можно с помощью подключенного к осциллографу малогабаритного дросселя с разомкнутым магнитопроводом. Кольцевой дроссель можно надеть на силовой проводник, например, соединяющий трансформатор с диодами (в этом случае удается наблюдать и более высокочастотный "звон").

Подавлять "звон" обмоток трансформатора с помощью RL-цепи эффективнее, т.к. при этом дополнительно снижается амплитуда и сужается спектральный состав импульсов тока, возникающих при открывании и закрывании диодов, а с помощью RC-цепи — проще (не требуется дроссель индуктивностью 100...300 мкГн на средний ток 3...5 А). Сторонники "бескомпромиссных" решений могут применить оба способа демпфирования одновременно, а при использовании только RL-цепей — в 3...5 раз увеличить емкость шунтирующих конденсаторов.

Для питания УМЗЧ чаще всего применяют стержневой трансформатор с двумя симметричными катушками. Хотя применение симметричных катушек и снижает поле рассеяния трансформатора, но и при этом оно велико. Положение усугубляется еще тем, что для получения двухполярного на-

пряжения обычно используется обмотка со средней точкой, половинки которой расположены на разных катушках. Это является причиной значительного увеличения поля рассеяния трансформатора и ВЧ-пульсаций в выходном напряжении ИП в моменты, когда с катушек снимается разная мощность, что наблюдается при усилении полумостовым УМЗЧ низкочастотных сигналов. Эта особенность работы стержневого трансформатора выявляется и при измерении  $L_{P2}$ . Если замкнуть сетевые выводы первичной обмотки, то  $L_{P2}$  вторичной обмотки, расположенной на одной из катушек, будет больше суммарной  $L_{P2}$  двух таких обмоток, включенных последовательно и расположенных на разных катушках. Если же выводы первичной обмотки соединить с перемычкой, соединяющей ее половинки, то все встает на свои места:  $L_{P2}$  каждой из половинок вторичной обмотки окажется вдвое меньше суммарной  $L_{P2}$ , величина которой остается такой же, как и при первом измерении.

Лучший способ устранения вышеуказанного недостатка — составление каждой половинки вторичной обмотки из двух обмоток, расположенных на разных катушках (каждая катушка должна содержать две одинаковые обмотки), например так, как это реализовано в [3]. В большинстве трансформаторов заводского изготовления этого сделать, увы, нельзя. В этом случае снизить увеличение (модуляцию) поля рассеяния трансформатора можно симметрированием нагрузок на катушки трансформатора. Если от ИП питаются два канала УМЗЧ, то это достигается инвертированием одного из подаваемых на стереофонический УМЗЧ входных сигналов. Это техническое решение положительно сказывается и на работе самих УМЗЧ [1].

Для выравнивания нагрузок на катушки трансформатора в источ-

никах положительного и отрицательного напряжения следует применять диоды и накопительные конденсаторы с близкими параметрами. Достичь полной симметрии обычно не удается, поэтому поле рассеяния оказывается в несколько раз больше, чем в первом случае. Если симметрирование нагрузок на катушки трансформатора не выполнено, то предпочтительнее использовать демпфирующие RC-цепи, поскольку  $L_{P2}$  при этом может изменяться в широких пределах, что снижает эффективность RL-цепей.

Третий способ симметрирования нагрузок — питание УМЗЧ от ИП с искусственной средней точкой (средний вывод вторичной обмотки отсоединяют от общего провода, а общий провод входных каскадов УМЗЧ соединяют с резистивным делителем). Его эффективность по снижению помех такая же, как и первого способа. Для снижения изменения напряжения на накопительных конденсаторах его рекомендуется сочетать со вторым способом симметрирования нагрузок. При отсутствии сетевых помех в таком ИП можно было использовать лишь один шунтирующий конденсатор и одну демпфирующую RC-цепь. Поскольку сеть далека от идеала, то и в таком ИП следует применять два конденсатора и две RC-цепи, соединив их общую точку с корпусом.

Еще одним выходом из положения для некоторых радиолюбителей может стать применение двух одинаковых стержневых трансформаторов (четвертый способ). Две вторичные обмотки первого трансформатора используют для формирования одной обмотки, а второго — другой обмотки. Эти обмотки включают последовательно, а среднюю точку соединяют с общим проводом.

(Окончание следует)

В.ЖБАНОВ,

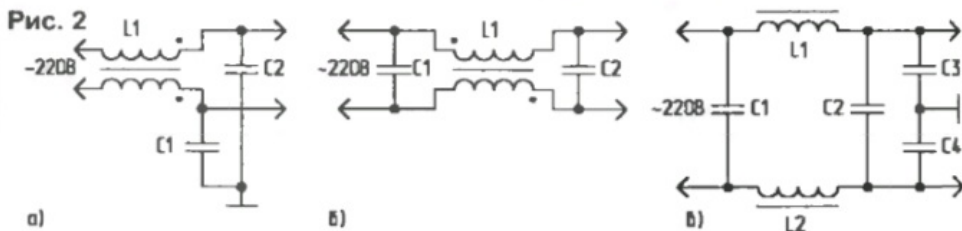
г.Ковров Владимирской обл.

## СНИЖЕНИЕ ПОМЕХ В ИП УМЗЧ

(Окончание. Начало в №6/07)

Второй источник ВЧ помех в ИП — сеть. Немало неприятностей доставляют как синфазные, так и противофазные составляющие сетевых помех, методы борьбы с которыми могут существенно различаться. Для снижения сетевых помех обычно применяют сетевые фильтры, незамкнутый экран между первичной и вторичной обмотками трансформатора и др. На рис.2 приведены различные сетевые фильтры:

- на рис.2а — фильтр синфазных помех (ФСП);
- на рис.2б — фильтр противофазных помех (ФПП);
- на рис.2в — комбинированный фильтр.



В ФСП следует применять конденсаторы и дроссели с одинаковыми параметрами. Симметричным должен быть и ФПП, если он используется вместе с ФСП. Желательно, чтобы сетевой фильтр подавлял синфазные и противофазные сетевые помехи выше 5...15 кГц. Не будет лишним дополнение сетевого фильтра демпфирующей последовательной RC-цепью, включенной параллельно первичной обмотке трансформатора (емкость конденсатора этой цепи выбирают в 2...5 раз больше емкости конденсатора, шунтирующего первичную обмотку трансформатора, а сопротивление резистора — в 2...4 раза меньше приведенного к первичной обмотке сопротивления нагрузки ИП). Эта цепочка снижает проникновение генерируемых ИП помех в сеть. При использовании сетевого коммутатора на тиристорах ее применение обязательно!

Для нормального функционирования ФСП общую точку его выходных конденсаторов обычно соединяют с

корпусом, который хотя бы по ВЧ должен быть соединен с общим проводом УМЗЧ. Соединять корпус с заземлением (нулевой провод сети для этой цели не подходит!) хотя и очень желательно, но не обязательно, поскольку он все равно оказывается с ним соединенным по ВЧ через паразитную емкость.

В трансформаторном ИП синфазные сетевые помехи подавляются упомянутым незамкнутым экраном, а в двухполярном — еще и конденсаторами одинаковой емкости, включенными между выводами вторичной обмотки и корпусом. Таким образом, шунтирующие конденсаторы в двухполярном ИП подавляют как противофазные, так и

синфазные сетевые помехи в его выходном напряжении. Именно снижением сетевых помех объясняется положительное влияние включенных параллельно диодам конденсаторов небольшой емкости. К сожалению, в моменты асимметричной нагрузки катушек стержневого трансформатора наблюдается увеличение сетевых помех, как в поле рассеяния трансформатора, так и в его выходном напряжении. Симметрирование нагрузок на катушки стержневого трансформатора устраняет и эту неприятность.

Следует отметить, что применение шунтирующих конденсаторов приводит к постоянному присутствию сетевых противофазных помех в поле рассеяния трансформатора, в то время как при отсутствии конденсаторов их резкое возрастание наблюдается лишь в моменты открытого состояния диодов. Поскольку "хрен редьки не слаще", то в любом случае необходимо предпринимать меры по снижению поля рассеяния трансформатора.

Весьма эффективный и доступный способ снижения ВЧ-составляющих всех видов в поле рассеяния трансформаторов — внешний короткозамкнутый экран поверх катушек. Им охватывают одновременно обе катушки стержневого трансформатора, а в броневом трансформаторе — еще и магнитопровод. Для изготовления такого экрана можно использовать тонкую листовую медь, латунь, алюминий, либо 2-3 слоя алюминиевой фольги. С экраном низкочастотные составляющие поля рассеяния снижаются незначительно, зато ВЧ-составляющие уменьшаются более чем на порядок. Максимальный же эффект наблюдается при асимметричной нагрузке катушек стержневого трансформатора, что, в ряде случаев, позволяет снизить требования к симметрированию нагрузок на его катушки. Эти эффекты находят косвенное подтверждение и при измерении  $L_{P2}$ . Если измерять  $L_{P2}$  на разных частотах, то можно заметить, что применение экрана приводит к более существенному снижению  $L_{P2}$  именно на высоких частотах, а  $L_{P2}$  одной катушки стержневого трансформатора уменьшается в несколько раз, приближаясь к значению, получаемому при замыкании выводов первичной обмотки на перемычку.

При самостоятельном изготовлении трансформатора для снижения  $L_{P2}$  следует выбирать толщину провода вторичной обмотки из расчета полного заполнения последнего слоя. Если этого достичь не удастся, то витки последнего слоя следует равномерно распределить на всю высоту катушки. При намотке тороидального трансформатора последний слой каждой вторичной обмотки следует равномерно распределить по всему кольцу (две одинаковые обмотки рекомендуется наматывать одновременно).

Очень часто дроссели сетевых фильтров имеют броневые или стержневые сердечники. Для снижения излучаемого ими поля рассеяния нужно, как минимум, применить внешний короткозамкнутый экран, а лучше сами дроссели поместить в экран (кольцевые дроссели тоже нуждаются в экранировании).

Провода, идущие от сети к фильтру, от фильтра к трансформатору, от трансформатора к диодам, от диодов к накопительному конденсатору, а от него к плате УМЗЧ, следует свить, а лучше и заэкранировать. Не лишним будет и экранирование переключек вторичной обмотки.

Хотя перечисленные меры и сужают спектральный состав пульсаций в выходном напряжении ИП до 5...15 кГц, но этого недостаточно. Снизить их до 1...3 кГц можно с помощью П-образного НЧ-фильтра. Для этого в схему выпрямителя нужно ввести дополнительный накопительный конденсатор, а между ним и основным конденсатором установить дроссель. Желательно, чтобы емкость дополнительного конденсатора составляла 10...20% емкости основного, но можно обойтись и конденсатором емкостью 200...500 мкФ. В последнем случае необходим конденсатор, способный работать в режиме импульсных токов (танталовый, К50-29 и т.п.).

При токе нагрузки 1...5 А эффективен дроссель индуктивностью 10...40 мкГн. Его можно изготовить, надев на проводник несколько ферритовых трубочек длиной 2 см, при-

большее количество витков.

Если от одного источника питаются несколько потребителей, то на идущие к каждому потребителю проводники питания нужно надеть одну-две вышеупомянутые ферритовые трубочки (предполагается, что у каждого потребителя установлены надежные блокировочные конденсаторы в несколько сотен или тысяч микрофарад). Это предотвратит проникновение возникающих при работе УМЗЧ в двухтактном режиме ВЧ-импульсов на накопительные конденсаторы, а с них — на другие нагрузки.

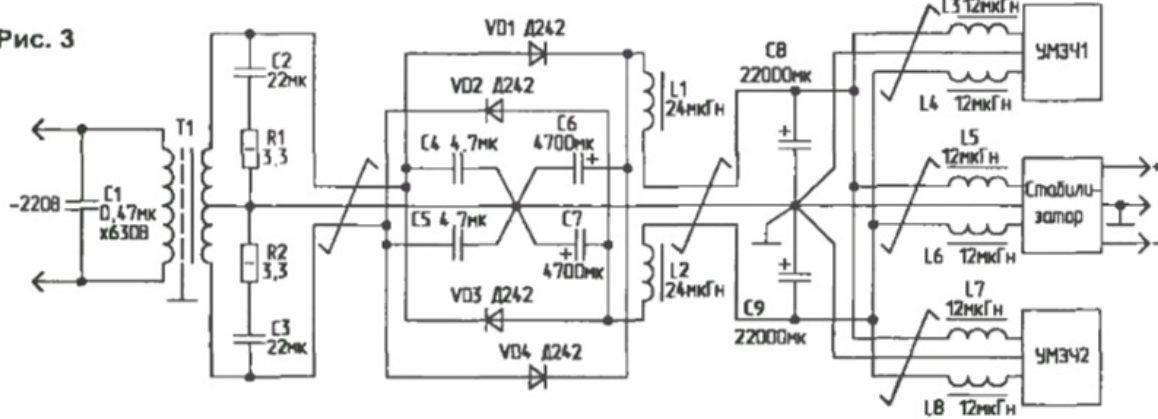
Особая нужда в развязке потребителей по ВЧ возникает в случае, когда с накопительных конденсаторов напряжение подается и на стабилизаторы, предназначенные для питания каскадов предварительного усиления. Эти каскады часто проектируют из расчета их питания от высококачественных источников, а многие современные стабилизаторы, как уже упоминалось, слабо подавляют ВЧ помехи. Кроме того, защита дорогостоящих накопительных конденсаторов большой емкости от бросков тока, как со стороны диодов, так и со стороны нагрузки, повышает надежность их работы.

можно получить их параллельным соединением). Выигрыш от применения быстродействующих диодов в этом ИП пренебрежимо мал, поэтому лучше взять низкочастотные диоды — они дешевы, надежны, проще крепятся к радиатору. С другой стороны, при использовании быстродействующих диодов можно в 3...5 раз уменьшить емкость конденсаторов С2...С5.

Возможны и иные упрощения. Так, если двухполярный ИП доработан в соответствии с рис.3, поверх катушек трансформатора наложен короткозамкнутый экран, а нагрузка на катушки трансформатора симметричная, то от сетевого фильтра можно отказаться. Если же экрана между обмотками в трансформаторе нет, а половинки вторичной обмотки размещены на разных катушках, то рекомендуется применить хотя бы фильтр от полупроводниковых телевизоров (имеющийся в нем конденсатор емкостью 0,1 мкФ подключают к сети, а высоковольтные конденсаторы — к трансформатору), наложив на используемый в нем дроссель внешний короткозамкнутый экран.

Все рекомендации по снижению помех могут быть применены и в им-

Рис. 3



меняемых в импульсных ИП, а также в качестве сердечников в катушках индуктивности блока сведения отчетственных телевизоров. Каждая такая трубочка образует дроссель индуктивностью 6 мкГн. Для дросселя подойдут и ферритовые кольца диаметром 6...8 мм (можно и больше), набранные в столбики высотой 2...3 см. Сквозь такой столбик пропускают проводник два-три раза. При большем диаметре колец можно намотать и

На рис.3 приведен один из возможных вариантов доработки ИП мощностью 70...150 Вт. Конденсаторы С4...С7 должны быть размещены в непосредственной близости от диодного моста и соединены с ним и с общим проводом как можно более короткими проводниками. В качестве С2...С5 можно применить как пленочные (К73-16, К73-17, МБГО и т.п.), так и керамические (КМ5, КМ6, К10-17) конденсаторы (требуемую емкость

пульсных ИП, где они дают гораздо больший эффект, чем в трансформаторных. При расчете емкости шунтирующих и демпфирующих конденсаторов можно воспользоваться приведенными выше соотношениями, предполагая, что через них протекает синусоидальный ток частотой, в 2...4 раза большей частоты преобразования.

#### Литература

1. Жбанов В. Схемотехника двухтактных УМЗЧ. — Радиомир, 2003, №8, С.8.
2. Поляков В. Уменьшение поля рассеяния трансформатора. — Радио, 1983, №7, С. 28.
3. Агеев С. Сверхлинейный УМЗЧ с глубокой ООС. — Радио, 1999, №12, С.16.