

*ПОСВЯЩАЕТСЯ
Моей милой супруге, незаменимому по-
мощнику в моей графоманской деятель-
ности и крестной матери этого при-
борчика.*

МЫШКИ И КОШКИ

Евгений Карпов

Эта статья не связана с высоким аудио, хотя звук все-таки излучается, и адресована всем самодельщикам, умеющим держать в руках паяльник, а не аудиофилам.

В статье приведена схема ультразвукового генератора, предназначенного для борьбы с мышами.

Основной побудительной причиной написания этой статьи и ее публикации на сайте стала неожиданно высокая эффективность приборчика и, соответственно, его высокая полезность в домашнем хозяйстве.

Мыши распоясались!

С наступлением осени мыши потянулись на зимние квартиры, и все бы было ничего, если бы эти серые нахлебники не просочились (не совсем ясно, как) в пространство за гипсокартонными плитами. К сожалению, знающие люди сообщили мне о такой возможности слишком поздно. В дальнейшем я эту информацию учел и всяческие антимишинные меры принимал, но в двух комнатах ремонт уже был закончен.

По мере похолодания на улице переселение шло все интенсивнее, судя по создаваемому шуму, начали перетаскивать тяжелую мебель и холодильники. И в один из вечеров жена мне намекнула, что этот шум ей здорово мешает.

Надо было что-то делать.

Заботливо установленная мышеловка со страшно вкусной корочкой оказалась неэффективной. Тогда мой взгляд обратился на сладко спящую кошку, и возникла мысль о прорезании в стене и художественном оформлении лаза для кошки. Еще один внимательный взгляд на кошку разрушил все мои иллюзии: кошка тоже готовилась к зиме, и с ее размерами (подумываю о расширении форточки) шансы поймать кого-либо в узком пространстве были ничтожны.

Проблема оказалась более сложной, чем я предполагал, надо было как-то выгнать мышей из этого пространства, не используя яд и не круша стены. Из глубин памяти всплыл факт, что ультразвуковые колебания отпугивают грызунов. Порывшись в старых журналах и побродив по сети, я нашел несколько публикаций на эту тему [1]. [2]. Несколько дней ушло на обдумывание проблемы и изготовление генератора.

Примчавшись с генератором домой, я сразу же запустил излучатель за гипсокартонную стенку и стал ждать эффекта. Топота лап убегающих в панике мышей я, конечно, не услышал, только кошка проявила повышенный интерес к отверстию, куда я вставил излучатель, а потом важно удалилась. Набравшись терпения, я стал ждать, что же из этой затеи выйдет. Первые признаки, что приборчик как-то действует на мышей, появились вечером - активности у мышей резко поубавилось. С каждым днем признаков мышьиной возни становилось меньше и меньше, и дня через четыре они исчезли совсем.

Генератор эксплуатируется уже около месяца, за это время экспериментальным путем были выявлены некоторые закономерности. Если генератор работает непрерывно, то мыши не появляются вообще, если его выключать, то подозрительные звуки появляются через несколько дней. Доподлинно мне не известен механизм воздействия ультразвука на мышей, может, действительно это мешает им спокойно жить, а может они уходят, боясь надорвать от смеха животы, но главное – они уходят.

Эксплуатируя генератор, следует соблюдать определенную технику безопасности. Длительное воздействие ультразвуковых колебаний может оказывать негативное действие на людей и домашних животных, поэтому если излучатель свободно подвешен в жилом помещении, то при наличии в нем людей генератор надо выключать. При размещении излучателя в нежилых помещениях или в закрытых полостях с достаточным акустическим экранированием (высокочастотные колебания отвратительно распространяются в воздухе и сильно поглощаются даже тонкими преградами), например, за гипсокартонной плитой, генератор может работать непрерывно.

Схема генератора

Общая идея построения генератора была почерпнута из найденных публикаций и никаких существенных изменений не претерпела, была изменена только техническая реализация. Мне захотелось несколько расширить гибкость в настройке генератора (каких-либо абсолютно четких рекомендаций по параметрам излучения я не обнаружил) и конечно, определенный отпечаток наложила имеющаяся под рукой элементная база.

Полная электрическая принципиальная схема генератора приведена на рисунке 1.

Сердцем приборчика является генератор, управляемый напряжением (ГУН). Он реализован на логическом элементе DD1:3 с триггером Шмидта на входе и источнике тока, управляемом напряжением, на элементах R11÷R13, VT3, VT4. Как работает генератор на триггере Шмидта,

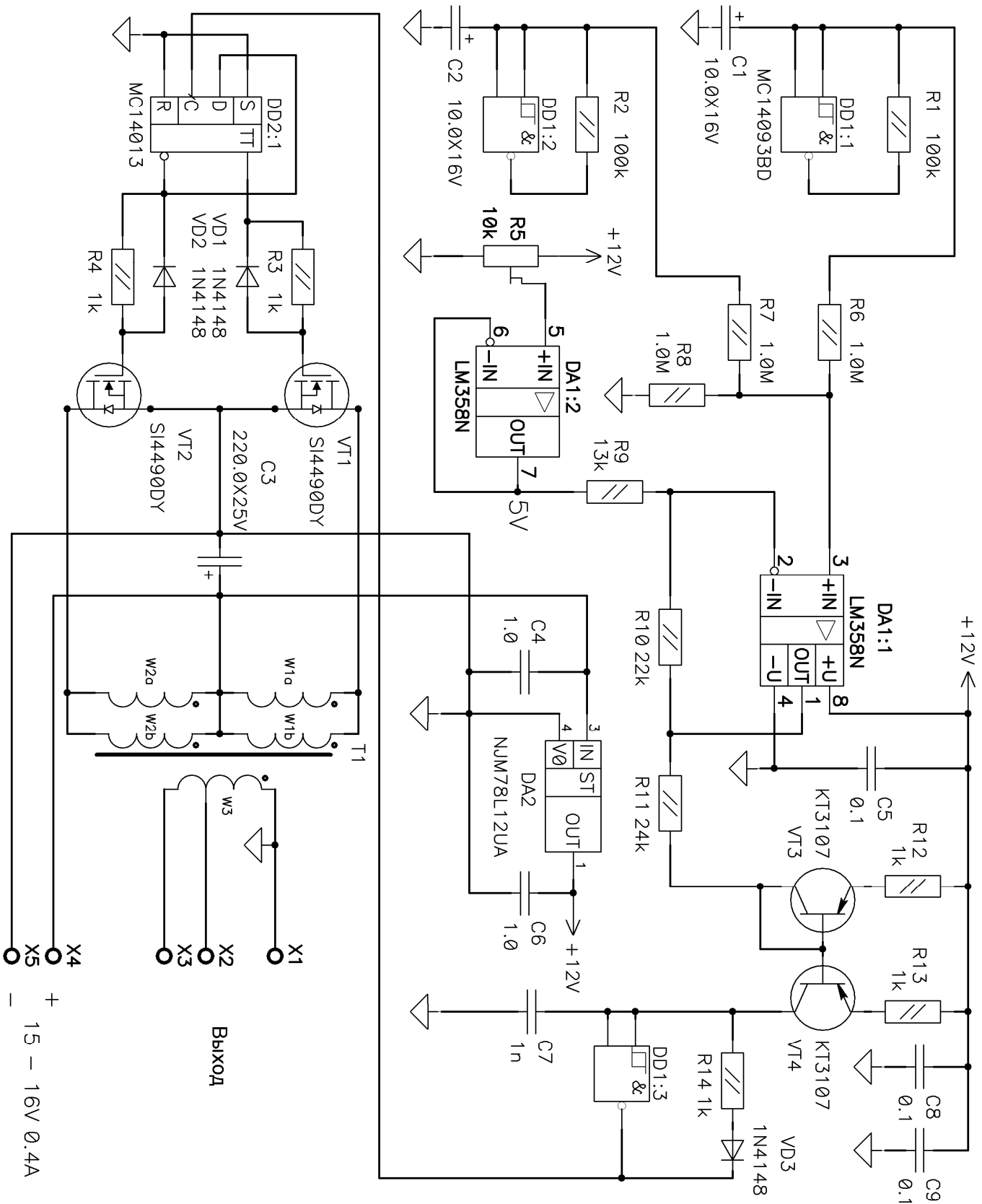


Рисунок 1

общеизвестно [3], отличие этой схемы заключено в том, что процесс заряда и разряда времязадающей емкости $C7$ разделены. Заряд емкости происходит током, определяемым напряжением, приложенным к резистору $R11$ (собственно говоря, напряжение в ток именно на нем и преобразуется), так как резистор $R14$ отключен от зарядной цепи запертым диодом $VD3$, а разряд – током, заданным резистором $R14$ и выходным сопротивлением логического элемента. Если выбрать ток разряда гораздо больше тока заряда (в рабочем диапазоне частот), то влиянием зарядного тока на скорость разряда емкости $C7$ можно пренебречь и приближенно считать, что выходная частота ГУН линейно зависит от напряжения, приложенного к резистору $R11$. Таким образом, мы получаем на выходе элемента $DD1:3$ короткие нулевые импульсы с переменной частотой.

Управляющее напряжение для ГУН поступает с выхода операционного усилителя $DA1:1$, суммирующего напряжения с двух низкочастотных генераторов ($DD1:1$, $DD1:2$) и напряжение смещения с выхода операционного усилителя $DA1:2$.

Коэффициент передачи сумматора на микросхеме $DA1:1$ и величина масштабного резистора $R11$ выбраны так, что коэффициент девиации частоты ГУН приблизительно равен $2 \div 2.3$ ($36 \div 80\text{kHz}$). Изменяя напряжение смещения резистором $R5$, можно сдвигать среднюю частоту ГУН приблизительно на $\pm 15\%$ без изменения величины девиации частоты.

На входы сумматора напряжение с низкочастотных генераторов поступает прямо с их времязадающих емкостей $C1$, $C2$. Напряжение на этих емкостях имеет экспоненциальную форму со средним уровнем около половины напряжения питания, суммирование двух таких напряжений с близкими частотами приводит к появлению на выходе сумматора амплитудно-модулированного напряжения экзотической формы (рис. 2).

Сами низкочастотные генераторы реализованы по стандартной схеме, частота генерации около 1Hz , соответственно, скорость свипирования частоты ГУН в два раза выше. Элементы частотоподающих цепей обоих генераторов имеют одинаковые номиналы, малая разница частот генераторов образуется за счет разброса параметров компонентов (в основном, за счет разброса номиналов электролитических конденсаторов).

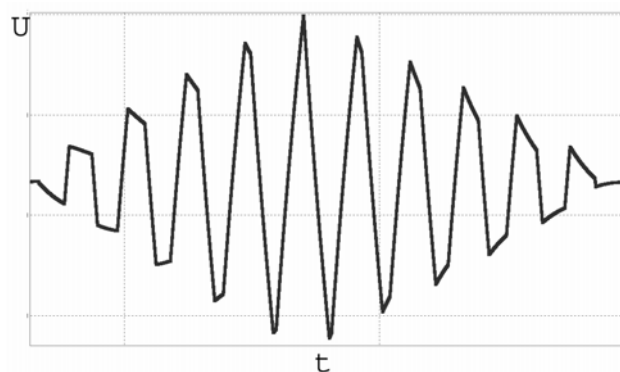


Рисунок 2

С выхода ГУН последовательность коротких импульсов поступает на D-триггер $DD2:1$, включенный в счетном режиме, где преобразуется в две противофазные последовательности импульсов вдвое более низкой частоты, имеющих форму меандра. Непосредственно этими импульсами возбуждаются транзисторы ($VT1$, $VT2$) ключевого усилителя мощности. Усилитель мощности имеет трансформаторный выход, я понимаю, что это усложняет конструкцию, но с другой стороны, позволяет получить оптимальное согласование с нагрузкой. В качестве излучателя сразу планировалось использовать пьезокерамику, а для ее эффективного возбуждения требуются высокие напряжения. Хотелось всего побольше, в том числе, и акустического давления на выходе.

Использовать трансформаторный выход совсем не обязательно, можно применить любую схему усилителя мощности, особенно, если в качестве излучателя использовать высокочастотную динамическую головку. Следует только не забывать о нагрузочной способности триггера, и соответствующим образом усилить сигнал.

Возбуждающие напряжения на затворы выходных транзисторов поступают через цепочки $R3$, $VD1$ и $R4$, $VD2$. Их основная цель – обеспечить задержку включения и относительно медленное отпирание транзистора при быстром запираении. Конечно, затягивание фронта на затворе транзистора приводит к повышенным динамическим потерям, но зато позволяет исключить сквозные токи и уменьшить выбросы напряжения на стоках транзисторов, также наличие резисторов в цепях затвора немного облегчает жизнь триггеру (в дальнейшем, этого вопроса мы коснемся подробнее).

Усилитель мощности не снабжен дополнительными цепями демпфирования и защиты. Это следует иметь в виду и при налаживании избегать закорачивать его выход.

Все узлы генератора, кроме усилителя мощности, питаются от маломощного линейного стабилизатора ($DA2$) напряжением 12V и потребляют ток порядка $7 \div 8\text{mA}$.

Конструкция, детали, налаживание

Собственно говоря, как таковой конструкции не было, генератор смонтирован на обрезке макетной платы, и есть подозрение, что так он и умрет.

Трансформатор на плату не влез и установлен рядом, в непосредственной близости с выходными транзисторами. Также нет каких-либо особых требований к монтажу. Единственно за чем надо проследить, чтобы блокирующие емкости С5, С8, С9 были установлены как можно ближе к выводам питания микросхем (по одной на каждый корпус). Емкости С4, С6 устанавливаются рядом с микросхемой стабилизатора DA2. Емкость С3 устанавливается рядом с выходными транзисторами, желательно, чтобы истоки выходных транзисторов и средняя точка трансформатора были непосредственно соединены с ее выводами, в эти же точки подается напряжение питания.

Неиспользуемые входы свободных логических элементов следует подключить к общему проводу. Генератор можно питать от любого, в том числе и нестабилизированного, источника с выходным напряжением $15 \div 16V$ и выходным током $0.3 \div 0.4A$.

Генератор не критичен к типам большинства используемых компонентов: пассивные компоненты могут быть любыми (желательно, чтобы потенциометр R5 был многооборотным), логические микросхемы без всякого ущерба заменяются на аналоги из серий K561 или KP1561, операционный усилитель должен допускать работу с однополярным питанием и иметь большой размах выходного напряжения, стабилизатор может быть любым, главное, чтобы он обеспечивал на выходе 12 вольт.

Более ответственно следует подойти к подбору выходных транзисторов. Используемые типы выходных транзисторов не являются широко распространенными, основной причиной их использования является их малая входная емкость. Это дало возможность подключить их затворы прямо к выходам триггера, но все равно, режим работы триггера чрезмерно тяжелый. Можно попробовать заменить их на транзистор IRF640, но кардинальным решением вопроса будет включение буферных усилителей между выходами триггера и затворами транзисторов. Это может быть любой двухканальный драйвер (например, TC4424 или MIC4424), компромиссным вариантом является использование буферных элементов из серии K561 (K561ПУ4, K561ЛН2). Такой вариант схемы показан на рисунке 3. В этом случае номенклатура пригодных транзисторов значительно расширяется, подойдет практически любой MOSFET транзистор с допустимым напряжением сток – исток $150 \div 200V$ и током стока в несколько ампер. Требование такого высокого напряжения сток – исток не случайно, дело в том, что заведомое снижение требований к качеству выходного трансформатора приводит к росту его паразитных параметров и, соответственно, к значительным выбросам напряжения на стоках транзисторов при их переключении. Значительный запас по допустимому напряжению обеспечивает надежную работу генератора.

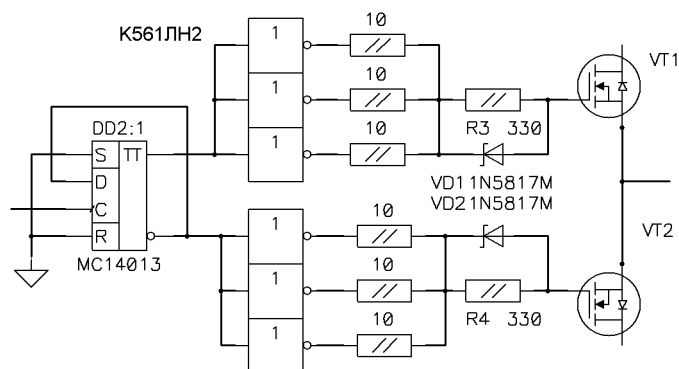


Рисунок 3

При изготовлении выходного трансформатора неожиданно возникла проблема, не нашлось подходящего сердечника из высокопроницаемого феррита. Немного поколебавшись, я решил сделать трансформатор на сердечнике из обыкновенной электротехнической стали. Конечно, это ухудшает параметры трансформатора и увеличивает его габариты, но для данного применения, эти ухудшения не являются катастрофическими. Если выбрать амплитуду индукции в сердечнике достаточно маленькой, то трансформатор вполне приемлемо работает в нужном диапазоне частот. В итоге, трансформатор был намотан на «беспородном» сердечнике ШП-12X15 с толщиной пластин - 0.35мм, в принципе, подойдет любой стальной сердечник с подобными или немного большими

геометрическими размерами. Первичные обмотки трансформатора разделены на две секции, которые включаются параллельно, половинки первичных обмоток мотаются в два провода. Между секциями первичной обмотки мотается вторичная. Порядок намотки трансформатора показан на рисунке 4. Первичные обмотки мотаются проводом ПЭЛ-2 Ø 0.27 мм и содержат по 200 витков, вторичная обмотка намотана проводом ПЭЛШО Ø 0.18мм и содержит 500 витков с отводом от четырехсотого витка. Обмотки намотаны в навал без использования прокладок. Индуктивность первичной обмотки должна быть не менее 0.1Н. Трансформатор способен отдать в нагрузку $7\div 8\text{WA}$ без существенного перегрева.

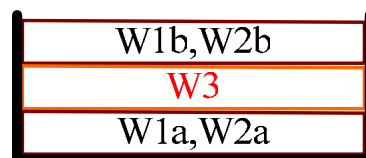


Рисунок 4

Вторичная обмотка рассчитана на вполне определенный излучатель, если вы не знаете точно параметров примененной керамики, то целесообразно число отводов увеличить.

Для ультразвукового излучателя были использованы кольца из пьезокерамики ЦТС-19 с размерами 18X15.5X13мм. В излучателе использовано три кольца, включенных параллельно, кольца разделены между собой изоляционными прокладками, и вся конструкция стянута стальной шпилькой (рисунок 5, шпилька снята). Резонансная частота собранного излучателя 33kHz, собственная емкость излучателя равна 25.7nF. Излучатель подключен к генератору отрезком тонкого коаксиального кабеля длиной 1.5÷2м, внешние электроды колец соединяются с экраном кабеля, который подключается к общему проводу.



Рисунок 5

Скорее всего, информация о конструкции излучателя окажется для вас бесполезной по причине отсутствия основных элементов - пьезокерамических колец. Поэтому приведу общие рекомендации по их замене. Для излучателя можно использовать и другие пьезокерамические элементы в виде дисков, пластин и сфер. Резонансная частота пьезоэлемента должна находиться в диапазоне 20÷35kHz. Следует также обратить внимание и на собственную емкость пьезоэлемента, если она слишком мала, то можно соединить несколько штук параллельно. В стремлении получить максимальное звуковое давление, то есть при установке напряжения возбуждения излучателя, необходимо помнить о двух ограничениях. Во-первых, мощность, отдаваемая выходным каскадом, не безгранична – его элементы не должны безумно греться, и во-вторых, допустимый ток излучателя тоже ограничен – излучатель при длительной работе может быть только чуть теплым, но не горячим. Попутно хочу заметить, что при пайке пьезоэлементов надо соблюдать определенную осторожность – пайка производится легкоплавкими припоями и быстро.

Налаживание генератора начинают с того, что отключают среднюю точку выходного трансформатора от цепи питания, устанавливают потенциометр R5 в среднее положение, и только после этого подключают генератор к источнику. В первую очередь контролируют наличие напряжения 12V, и если все нормально, то потенциометром R5 устанавливают на выходе DA1:2 напряжение, равное 5V. Такая величина напряжения смещения приблизительно соответствует изменению частоты на выходе генератора 18÷40kHz. Далее, проверяют наличие низкочастотных колебаний на выходах DD1:1 и DD1:2, это можно проверить и вольтметром, а вот проконтролировать работу ГУН (DD1:3) можно только осциллографом. Так как скорость изменения частоты на выходе ГУН не очень велика, то оценить минимальный и максимальный период выходных колебаний можно прямо по экрану (не забудьте, что частота ГУН в два раза выше выходной частоты генератора). В случае необходимости рабочий диапазон частот сдвигается подстройкой напряжения смещения (R5). Обязательно проверьте наличие напряжения возбуждения непосредственно на затворах транзисторов выходного каскада (VT1, VT2): амплитуда импульсов должна быть не менее 10V, импульсы на затворах транзисторов должны быть противофазные.

Убедившись, что все работает правильно, подключите на место среднюю точку выходного трансформатора (естественно, при выключенном напряжении питания) и можете приступать к подбору напряжения возбуждения излучателя (у меня излучатель подключен к отводу вторичной обмотки).

Список литературы

1. В. Банников, Ультразвук против грызунов, Радио №8, 1996.
2. А. Шитов, Вариант отпугивателя грызунов, Радио №7, 1997.
3. Е. А. Зельдин, Импульсные устройства на микросхемах, М.: Радио и связь, 1991.