

Шершень

Самодельный генератор электромагнитных помех для нейтрализации беспроводных индукционных микронаушников

Аннотация. Описывается разработка рабочего прототипа устройства, создающего переменное электромагнитное поле для подавления связи через беспроводные индукционные микронаушники. Устройство глушит радиоканал наушника на его рабочей частоте: излучаемое поле перекрывает полезный сигнал в петлевой антенне приёмника. Приводятся расчёт катушки-излучателя, схемотехническое решение на базе усилителя класса АВ, конструктивные меры по разведению цепей и обеспечению теплового режима, а также результаты испытаний.



Рис. 1. Общий вид устройства: корпус с внешним радиатором, кабель катушки и кабель питания

1. Введение

Беспроводной индукционный микронаушник — это миниатюрная катушка, вставляемая в ушной канал, и петлевая антенна, которую носят скрытно на шее под одеждой. Петля-антенна принимает радиосигнал с телефона и создаёт вокруг себя переменное магнитное поле; катушка в ухе улавливает это поле и преобразует его обратно в звук. Металлический проводник в такой системе есть всегда — именно на явлении электромагнитной индукции в проводнике вся передача и построена.

Промышленные глушители в аудиториях подавляют радиоканал между телефоном и петлёй-антенной. Однако готового решения, доступного в свободной продаже и рассчитанного именно на этот класс устройств, найти не удалось. Так возникла идея собрать такое устройство самостоятельно.

Подход, реализованный в настоящей работе, тоже глушит радиоканал, но иначе: устройство само излучает электромагнитные волны на рабочей частоте наушника, заполняя эфир в зоне приёма шумовым сигналом. Приёмная петля наводится этим полем и не может выделить полезную речь.

2. Цель и гипотезы

Цель работы — создание рабочего прототипа устройства, подавляющего связь через беспроводные индукционные микронаушники.

Гипотеза 1: индукционный микронаушник в принципе поддаётся глушению электромагнитным полем, несмотря на отсутствие готовых устройств такого рода в продаже.

Гипотеза 2: рабочий прототип можно собрать самостоятельно из доступных компонентов.

3. Принцип действия

В основе и наушника, и устройства лежит электромагнитная индукция. Переменный ток в петлевой катушке-излучателе создаёт вокруг неё переменное магнитное поле; это поле наводит ЭДС в любой находящейся рядом катушке — в том числе в приёмной катушке микронаушника. Если поле излучателя несёт шумовой сигнал достаточной амплитуды, приёмник наводится этим шумом и разборчивая речь через него не проходит.

Интенсивность магнитного поля быстро убывает с расстоянием от излучателя. Отсюда конструктивное требование: устройство должно располагаться в непосредственной близости от зоны приёма, а катушка — иметь достаточные размеры и длину, чтобы охватывать эту зону.

4. Расчёт параметров катушки-излучателя

Катушка-излучатель выполнена из изолированного медного провода диаметром 0,5 мм в форме плоской петли с периметром 6 м (8 витков). Параметры рассчитаны аналитически; ключевые значения сведены в таблицу 1.

Параметр	Значение
Длина провода (периметр)	6,000 м
Диаметр провода	0,500 мм
Число витков	8
Материал	Медь ($\rho = 0,017 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$)
Активное сопротивление	4,16 Ом
Индуктивность	0,77 мГн
Индуктивное сопротивление (1 кГц)	4,84 Ом
Полное сопротивление (1 кГц)	6,38 Ом
Ампер-витков при 1 В	1,25

Таблица 1. Расчётные параметры катушки-излучателя

Целевой диапазон полного сопротивления — 4–8 Ом — выбран из условия согласования с выходным каскадом усилителя класса АВ, рассчитанного на нагрузку 4–16 Ом. Расчётное значение 6,38 Ом лежит в центре диапазона, что обеспечивает устойчивую работу без дополнительных согласующих цепей.

Длина катушки выбрана не только из соображений мощности. Была отдельная идея: использовать петли-антенны самих микронаушников, которые носят на шее, как сердечники внутри большого контура — чтобы они не просто перебивались помехой, а сами становились источником шума. Об этом — в разделе результатов.

Провод намотан вручную; места соединения с клеммными колодками корпуса пропаяны. Изолированное исполнение обеспечивает механическую устойчивость к деформациям при укладке и развёртывании и исключает межвитковые замыкания.

5. Схемотехническое решение

В качестве усилителя мощности применён готовый модуль ВМ2037 на микросхеме TDA2030A — одноканальный усилитель класса АВ номинальной мощностью 18 Вт при нагрузке 4 Ом. Полоса пропускания модуля (20–20 000 Гц) перекрывает рабочий диапазон катушки. Готовый модуль обеспечивает стабильный усилительный тракт с регулятором уровня.



Рис. 2. Внутреннее устройство: модуль BM2037 (TDA2030A) закреплён к корпусу; клеммные колодки — питание и выход на катушку

Питание — однополярное, 24 В / 2,5 А от сетевого адаптера. Кабель питания и вывод катушки размещены на одной стороне корпуса, а ввод самой катушки выведен с противоположной стороны. Такое разведение сделано намеренно — против самовозбуждения: оно снижает паразитную индуктивную связь между сильноточным контуром катушки и цепями питания и предотвращает самоиндукцию, способную сорвать работу усилителя.

6. Тепловой режим и охлаждение

Штатная конфигурация модуля BM2037 рассчитана на кратковременные пиковые нагрузки. При длительной непрерывной работе тепловыделение на кристалле TDA2030A достигает значений, при которых срабатывает встроенная тепловая защита. Для непрерывного режима реализовано усиленное охлаждение.

На плате высверлено дополнительное крепёжное отверстие, через которое силовой элемент прижат к стенке корпуса с теплопроводящей пастой. Снаружи корпуса закреплён фрезерованный алюминиевый радиатор с рёбрами, изготовленный на фрезерном станке по заданным размерам.

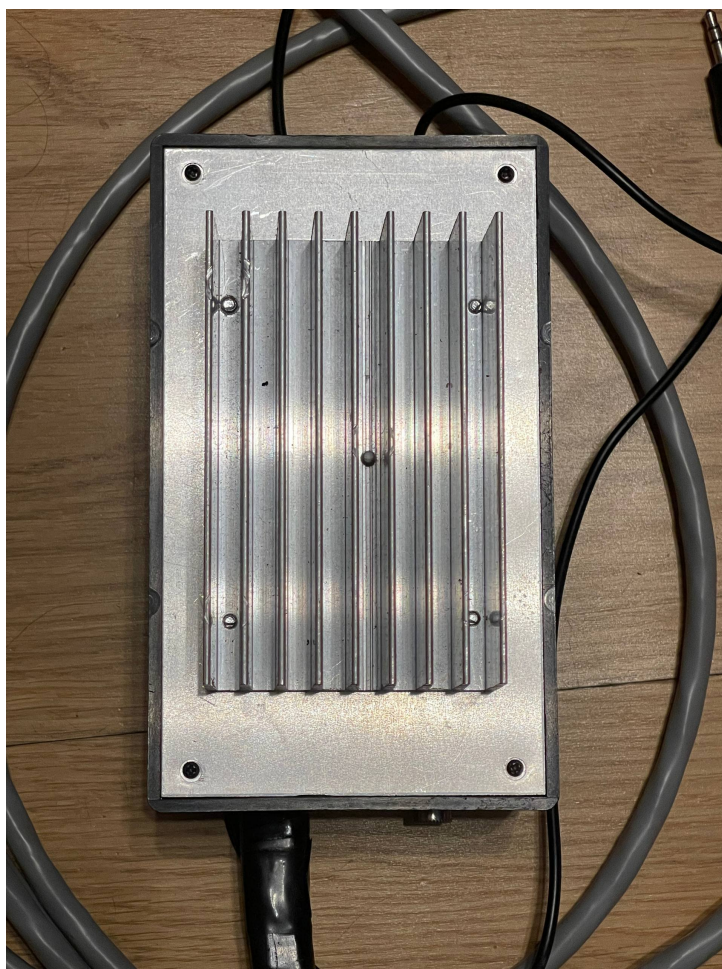


Рис. 3. Фрезерованный алюминиевый радиатор: рёбра обеспечивают конвективный теплоотвод

В результате при непрерывной работе корпус силового элемента остаётся ощутимо ниже предельных температур — радиатор тёплый, сам элемент холодный, тепловая защита не срабатывает.

7. Конструкция корпуса и монтаж

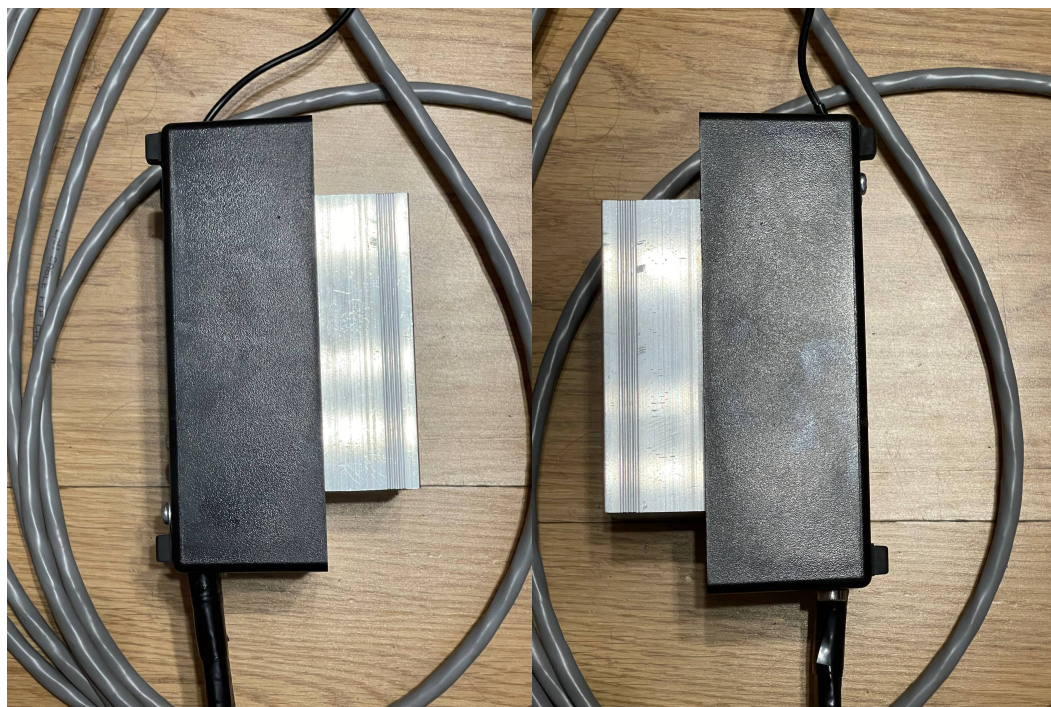


Рис. 4, 5. Вид сбоку: радиатор занимает половину боковой грани; тепловой контакт с силовым элементом через металлическую стяжку



Рис. 6. Дно корпуса: монтажные отверстия и резиновые ножки; плата закреплена саморезами к основанию

Корпус выполнен из ударопрочного пластика. Плата закреплена ко дну на стойках и саморезах; радиатор прикреплён снаружи через проставки, обеспечивающие тепловой контакт с силовым элементом. Компоновка обеспечивает доступ к клеммным колодкам при снятой крышке; жгут выходных проводов уложен вдоль стенки.

8. Входной сигнал и подключение

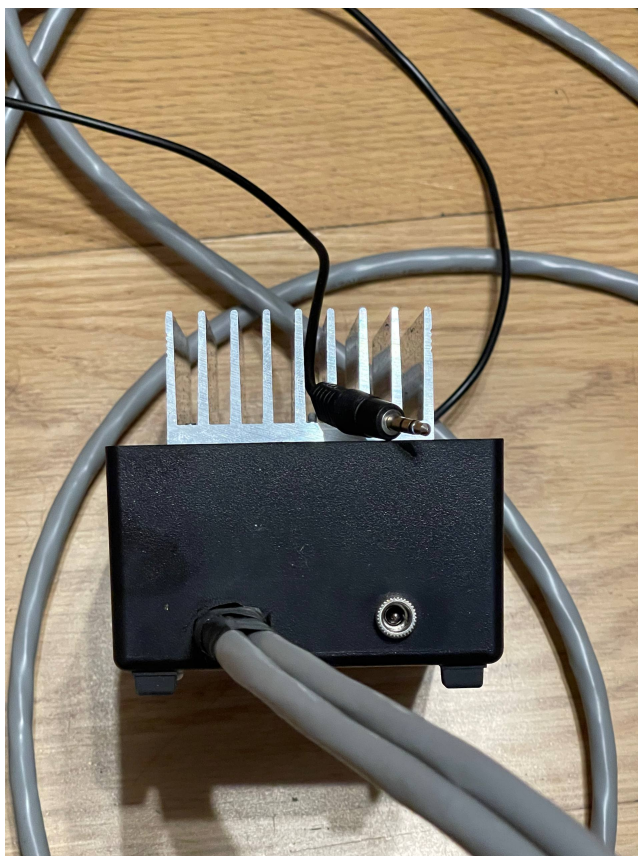


Рис. 7. Торец корпуса: разъём 3,5 мм TRS (вход сигнала), кабельный ввод питания

Источником шумового сигнала служит браузерный генератор myNoise Audio Jammer (<https://mynoise.net/NoiseMachines/audioJammerNoiseGenerator.php>) — инструмент для формирования речеподобного маскирующего шума. Сигнал подаётся через разъём 3,5 мм TRS с телефона или ноутбука; спектр можно оперативно подстраивать без вмешательства в схему. Уровень регулируется штатным потенциометром модуля.

Мощность поля можно приблизительно удвоить, сложив петлю пополам (удвоение числа витков при вдвое меньшем периметре). Следует учитывать, что интенсивность поля убывает с расстоянием очень быстро, поэтому прирост мощности даёт лишь небольшое увеличение рабочей дистанции.

9. Результаты испытаний

Прототип работоспособен: устройство подавляет связь через индукционные микронаушники в непрерывном режиме, без перегрева и срабатывания тепловой

защиты. Обе исходные гипотезы подтвердились — глушение возможно, и рабочий прототип удалось собрать самостоятельно.

Идею с использованием петель-антенн наушников как сердечников удалось реализовать частично. Если приёмная катушка микронаушника оказывается внутри большого контура, она перебивается полностью: даже достаточно мощные наушники теряют свой контур и не воспроизводят сигнал. Вне большого контура этот эффект наблюдается лишь на небольшом расстоянии от него.

Устройство безопасно как для человека, так и для приборов: оно не угрожает жизни, здоровью и имуществу. Мощность поля слишком мала для какого-либо теплового или разрушающего воздействия — попытка нагреть полем кусочек меди и железа в идеальных условиях дала изменение температуры, практически неотличимое от нуля.

10. Заключение

Рабочий прототип создан и функционирует. В ходе постройки учтены все существенные особенности: согласование катушки с усилителем, разведение силовых и сигнальных цепей против самовозбуждения, обеспечение длительного теплового режима, изолированное исполнение катушки. Устройство делает своё дело.

Есть и понятные направления совершенствования: прототип можно сделать компактнее, аккуратнее и мощнее, повысить эффективность излучателя и удобство настройки. Как учебная и инженерная задача проект полностью себя оправдал — от идеи, подсказанной физикой электромагнетизма, до собранного и проверенного в работе устройства.