

Артём Овчаров,

МБОУ СОШ № 5, г. Армавир, Краснодарский край

Руководитель:

Евгений Маленович Шишкин,

почетный работник общего образования Российской Федерации,
заведующий лабораторией радиоэлектроники Центра научно-технического
творчества, педагог дополнительного образования высшей категории,
г. Армавир, Краснодарский край

Радиосвязь — без неё немыслима современная цивилизация. Узнать, на каком физическом принципе осуществляется радиосвязь, и стало целью моего исследования.

Предмет исследования: радиопередающие устройства с амплитудной и частотной модуляцией.

Задачи исследования:

- познакомиться с физическими основами радиосвязи;
- построить и испытать действующие макеты передающих устройств, использующие амплитудную и частотную модуляцию.

Гипотеза: радиосвязь осуществляется с помощью высокочастотных электромагнитных волн, которые «несут» полезную, низкочастотную, информацию.

Новизна исследования заключается в том, что проект выполнен учащимся, ещё не изучавшим физику в школе. Сложные физические понятия изложены в доступной форме и закреплены простейшими и наглядными опытами.

Практическая значимость исследования состоит в том, что результаты работы (в виде рекомендаций и наглядных пособий) могут быть использованы учениками

начальной школы общеобразовательных школ на занятиях кружков «Радиолюбитель» и «Юный исследователь».

Модуляция — процесс преобразования несущего сигнала в соответствии с информационным (полезным) сигналом. Наиболее простыми и часто используемыми видами модуляции являются амплитудная и частотная (FM). Под амплитудной модуляцией понимают такую модуляцию, при которой в такт с изменением амплитуды полезного сигнала изменяется амплитуда несущих колебаний. Под частотной модуляцией понимают такую модуляцию, при которой в такт с изменением амплитуды полезного сигнала изменяется частота несущих колебаний. Я изготовил и успешно испытал действующие макеты передающих устройств:

- 1) передающее устройство на низких звуковых;
- 2) передающее устройство с амплитудной модуляцией средневолнового диапазона с усилителем звуковой частоты;
- 3) FM передающее устройство на базе симметричного мультивибратора.

Проведя лабораторные испытания, я понял, что увеличение несущей частоты радиопередающего устройства приводит



Рис. 1. А.С. Попов

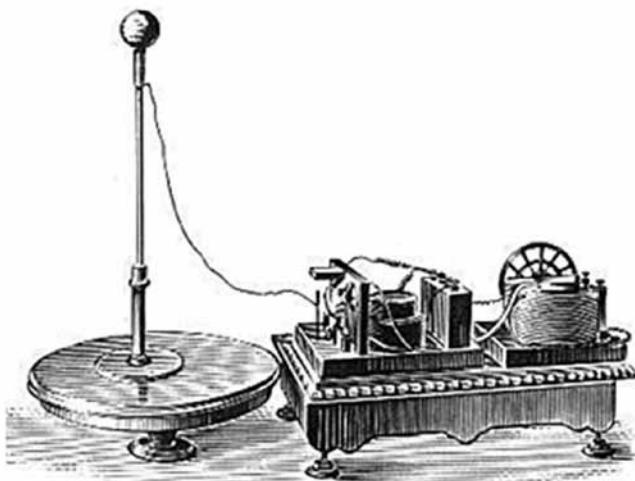
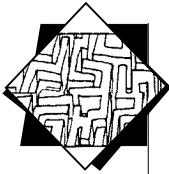


Рис. 2. Приёмная установка А.С. Попова



к увеличению расстояния уверенного приёма и позволяет снизить потребляемую мощность. Проводя эксперименты с действующими макетами передающих устройств, выяснил, что дальность уверенной передачи сигнала зависит не только от частоты, но и от среды, в которой распространяется радиоволна.

День 7 мая (25 апреля по старому стилю) вошел в историю мировой науки и техники как день рождения радио. Именно в этот день в 1895 году на заседании Русского физико-химического общества российский физик Александр Степанович Попов (рис. 1) [1] выступил с докладом и демонстрацией созданного им первого в мире радиоприемника (рис. 2) [2].

Передающее устройство на низких (звуковых) частотах

Наиболее простым способом организовать передачу информации на расстояние, без проводов, можно, построив передающее устройство на низких (звуковых) частотах, которое было изготовлено мною при выполнении исследовательского проекта «Радиосвязь, начало начал» (рис. 3).

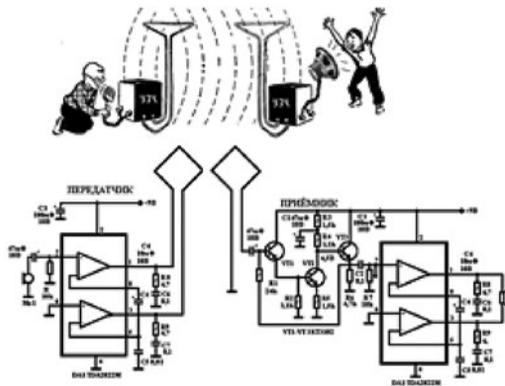


Рис. 3. Передающее устройство на низких (звуковых) частотах

Работает это устройство так: звуковые волны воздействуют на катушку микрофона. Катушка микрофона колеблется в магнитном поле постоянного магнита, и в ней наводится электрический ток — сигнал. Электрический сигнал усиливается усилителем звуковой частоты и подаётся в передающую рамку. По передающей рамке протекает электрический ток, а вокруг неё возникает электромагнитное поле. Электромагнитное поле пересекает витки приёмной рамки и наводит в ней переменный электрический ток. Наведённый электрический ток усиливается усилителем звуковой частоты, который соединен с громкоговорителем. Катушка громкогово-

рителя расположена в магнитном поле постоянного магнита и при прохождении через неё электрического тока колеблется с его частотой. Катушка механически соединена с диффузором громкоговорителя. Так электрические колебания преобразуются в звуковые волны. Анализируя работу этого устройства, я понял, что так передавать информацию можно, но неэффективно. Электромагнитное поле передающей рамки распространяется во все стороны, и поэтому только часть поля окажет воздействие на принимающую рамку. Только малая часть энергии поля будет преобразована в электричество. Одновременно, не мешая друг другу, может работать только передающее устройство, и поэтому радиосвязь на звуковых частотах в настоящее время не используется.

В лаборатории радиоэлектроники я узнал, что передавать информацию на действительно большие расстояния с помощью электромагнитных волн можно, если преобразовать сигнал звуковой частоты в электромагнитные волны большой частоты.

Основные понятия о процессе модуляции

Для передачи сигнала низкой частоты на расстояние без проводов его преобразуют в сигнал высокой частоты. Этот процесс называется модуляцией. Представить себе процесс модуляции можно, если вообразить коня с седоком. Конь — это сигнал высокой частоты, который способен перевозить седока (сигнал низкой частоты) на большие расстояния (рис. 4).

Сигнал высокой частоты часто называют несущим сигналом, а сигнал низкой частоты — полезным сигналом. Полезный сигнал в электрической форме мы получаем от источника информации, а вот сигнал высокой частоты вырабатывают спе-



Рис. 4. Конь — сигнал высокой частоты, седок — сигнал низкой частоты

циальные устройства — высокочастотные генераторы [3]. Модуляция сигнала высокой частоты полезным сигналом происходит в специальном устройстве — модуляторе. В этом случае весь процесс модуляции можно представить блок-схемой (рис. 5).



Рис. 5. Блок-схема процесса модуляции

Иногда высокочастотный генератор совмещают с модулятором, в этом случае весь процесс модуляции можно представить блок-схемой (рис. 6).



Рис. 6. Блок-схема совмещённого процесса модуляции

Основные понятия о колебаниях и волнах

Колебания — это сложный процесс, который может протекать в любой среде, но в какой бы среде колебания ни протекали, между ними всегда есть много общего. Информация в электронных устройствах представляется в виде электрических сигналов — электрических колебаний. В лаборатории радиоэлектроники мне подсказали, что рассматривать особенности электрических колебаний удобно на примере механических колебаний. В технике можно встретить синусоидальные колебания [3]. С особенностями этих колебаний я познакомлюсь в старших классах, а получить такие колебания можно, если как маятник подвесить и заставить колебаться карандаш. В этом случае при протаскивании листа бумаги под карандашом мы получим график называемый синусоидой (рис. 7) [3].

Выделяют следующие параметры колебания:

1. Период T — это время, за которое совершается одно полное колебание, измеряется в секундах.

2. Полупериод τ_1 и τ_2 — время половины колебания, причём $T = \tau_1 + \tau_2$.

3. Амплитуда $+A$ и $-A$ — наивысшая точка полупериода.

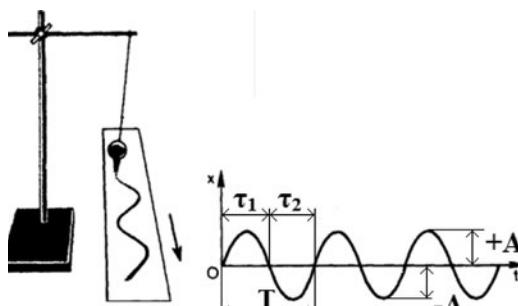


Рис. 7. Механический маятник и синусоида

4. Длина волны λ — расстояние, на которое переместится фронт волны за время одного полного колебания, измеряется в метрах.

5. Частота колебаний F — количество колебаний за одну секунду, измеряется в герцах. Один герц равен одному колебанию за одну секунду.

Частота и период связаны между собой формулой $F = 1/T$. Наблюдая за маятником, я заметил, что график колебаний может меняться со временем в зависимости от изменения амплитуды колебаний. Это полностью согласуется с опытом раскачивания на качелях (рис. 8) [4].



Рис. 8. Колебательный процесс

В этом случае говорят о добротности или качестве колебательной системы. Добротность Q колебательной системы численно равна периодам до полного исчезновения колебаний.

Конечно, в настоящее время бумагу и карандаш под колеблющее тело не подкладывают для построения графика колебательного процесса. Для этих целей служит электронный осциллограф, а график, получаемый в результате такого исследования, называют осциллограммой. Современный осциллограф имеет экран, по горизонтальной оси которого определяется время колебания, а по вертикальной — амплитуда колебания (рис. 9) [5].

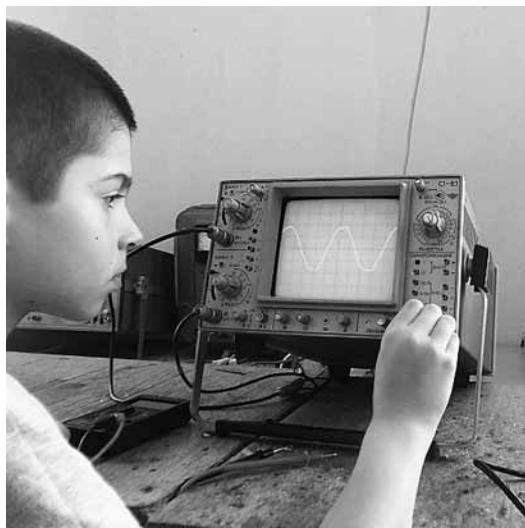
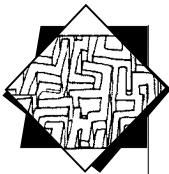


Рис. 9. Осваиваем осциллограф С1-83

Основные виды модуляции

В лаборатории радиоэлектроники я узнал, что наиболее простыми и часто используемыми видами модуляции являются амплитудная и частотная (FM) модуляции.

Под амплитудной модуляцией понимают такую модуляцию, при которой в

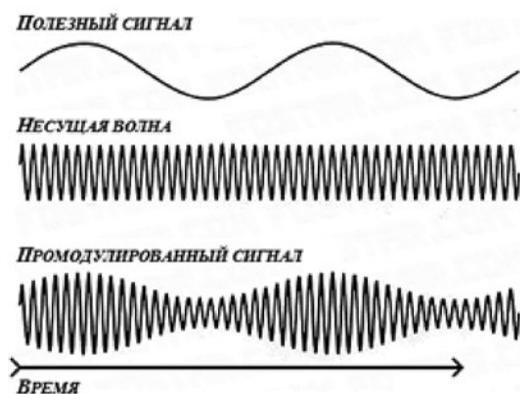


Рис. 10. Амплитудная модуляция

такт с изменением амплитуды полезного сигнала изменяется амплитуда несущих колебаний (рис. 10) [5].

Под частотной модуляцией понимают такую модуляцию, при которой в такт с изменением амплитуды полезного сигнала изменяется частота несущих колебаний (рис. 11) [5].

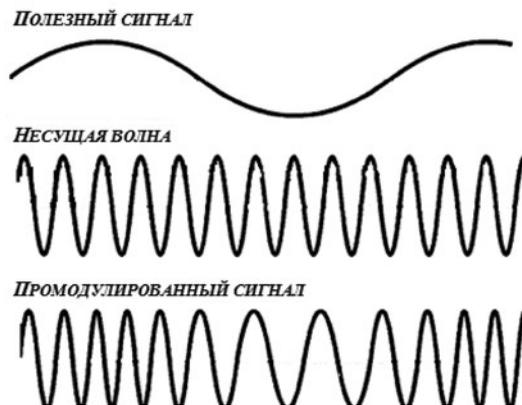


Рис. 11. Частотная модуляция

Диапазоны радиоволн

Радиоволны — это электромагнитные колебания, распространяющиеся в пространстве со скоростью света (300 000 км/сек). Частота и длина радиоволны связаны между собой отношением: $\lambda = 300/F$. Радиоволны, используемые в радиотехнике, занимают область от 10 000 м (30 кГц) до 0.1 мм (3 000 ГГц). Международными соглашениями весь спектр радиоволн, применяемых в радиосвязи, разбит на диапазоны (табл. 1) [6].

Эти диапазоны обширны и, в свою очередь, разбиты на участки. Каждой радиослужбе выделен свой участок диапазона или фиксированные частоты (рис. 12) [6].

Таблица 1

Диапазоны радиоволн

Диапазон частот	Наименование диапазона волн	Длина волны
3–30 кГц	Очень низкие частоты (ОНЧ). Мириаметровые волны	100–10 км
30–300 кГц	Низкие частоты (НЧ). Километровые волны	10–1 км
300–3000 кГц	Средние частоты (СЧ). Гектометровые волны	1–0,1 км
3–30 МГц	Высокие частоты (ВЧ). Декаметровые волны	100–10 м
30–300 МГц	Очень высокие частоты (ОВЧ). Метровые волны	10–1 м
300–3000 МГц	Ультравысокие частоты (УВЧ). Дециметровые волны	1–0,1 м
3–30 ГГц	Сверхвысокие частоты (СВЧ). Сантиметровые волны	10–1 см
30–300 ГГц	Крайне высокие частоты (КВЧ). Миллиметровые волны	10–1 мм
300–3000 ГГц	Гипервысокие частоты (ГВЧ). Децимиллиметровые волны	1–0,1 мм

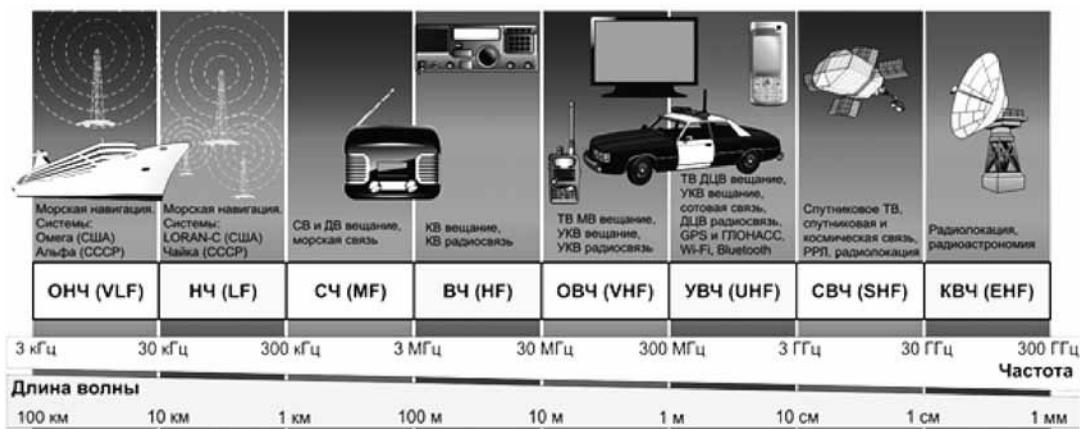


Рис. 12. Служебные участки радиоволн

Действующий макет радиопередающего устройства средневолнового диапазона с амплитудной модуляцией

За основу передающего устройства с амплитудной модуляцией средневолнового диапазона выбран LC генератор на одном транзисторе (рис. 13) [7].

Выбор такого схемотехнического решения обусловлен тем, что:

- 1) изготовление и настройка данного устройства доступно даже начинающему радиолюбителю;
- 2) устройство не содержит дефицитных деталей и не критично к их номиналам;
- 3) изготовление устройства не противоречит законодательству РФ.

Условием возникновения устойчивой генерации является наличие положительной обратной связи (ПОС), цепь обратной связи — L2, C1, база транзистора VT1. Работает это устройство следующим образом: при подключении источника питания в контуре магнитной антенны L1 — C2 возникнут затухающие колебания. Часть энергии этих колебаний через конденсатор

C1 будет передано на базу транзистора VT1 и усилится им. А так как колебательный контур L1 — C2 подключён в коллекторную цепь транзистора, то транзистор восполнит потери энергии в контуре за счёт энергии батареи. В колебательном контуре L1 — C2 возникнут незатухающие колебания. Амплитудная модуляция несущей частоты полезным сигналом (звуковой частоты) возникает за счёт того, что в цепь питания транзистора последовательно с батареей питания включён звуковой трансформатор (рис. 14) (график получен при подаче на вход импульсного сигнала частотой 100 Гц).

Магнитная антенна выполнена на ферритовом стержне диаметром 8 мм и длиной 100 мм. Она состоит из катушек L1 и L2, намотанных «виток к витку». Катушка L1 изготовлена на неподвижном каркасе и содержит 90 витков проводом ПЭВ-1 диаметром 0,3 мм. Катушка L2 изготавливается на подвижном каркасе и имеет 9–10 витков того же провода. Трансформатор Tr1 применён от абонентского громкоговорителя и включён как повышающий трансформатор. Монтаж устройства может быть

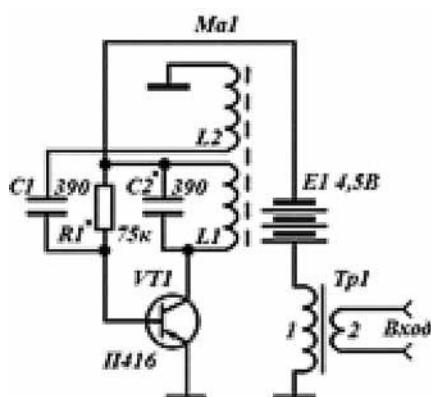


Рис. 13. Передающее устройство с амплитудной модуляцией средневолнового диапазона

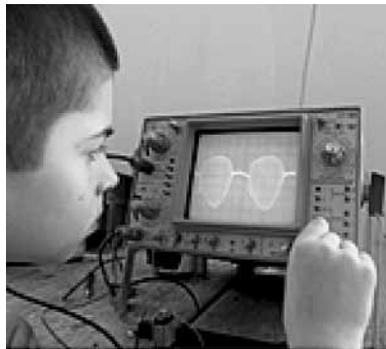
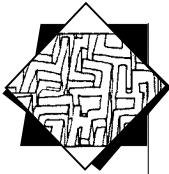


Рис. 14. Амплитудная модуляция

произвольным. Настройка устройства сводится к подбору полярности включения катушки L2 и определению опытным путём её положения на стержне (по возникновению ВЧ колебаний). Изменением в небольших пределах номинала резистора R1 добиваются наибольшей амплитуды ВЧ колебаний, а изменением номинала конденсатора C1 устанавливают частоту несущих колебаний так, чтобы передача приходилась на незанятый участок средневолнового диапазона волн.

Лабораторные испытания этого действующего макета радиопередающего устройства показали низкое качество передаваемого сигнала. Я сделал предположение, что причиной высоких искажений является звуковой трансформатор. Был опробован способ модуляции по амплитуде подачей звукового сигнала непосредственно на базу транзистора (рис. 15).

Лабораторные испытания этого действующего макета радиопередающего устройства показали возросшее качество передачи, но снизилось расстояние уверенной связи. Лучшими параметрами обладает макет, выполненный по схеме (рис. 16).

На транзисторе VT1 выполнен усилитель звуковой частоты. Транзистор VT2, включённый эмиттерным повторителем, подаёт питание на генератор высокой час-

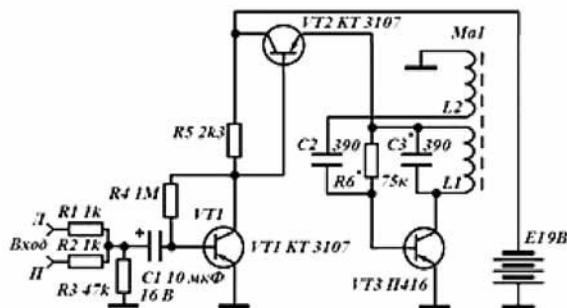


Рис. 16. Передающее устройство с амплитудной модуляцией средневолнового диапазона с усилителем звуковой частоты

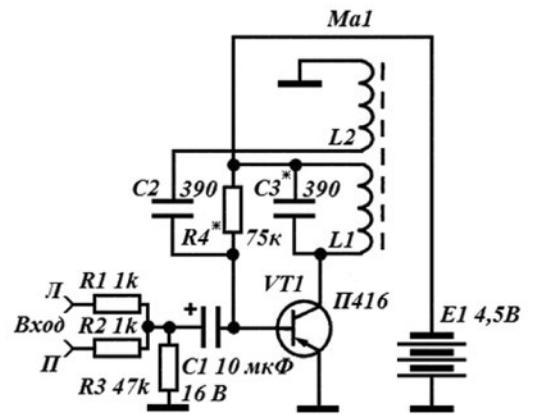


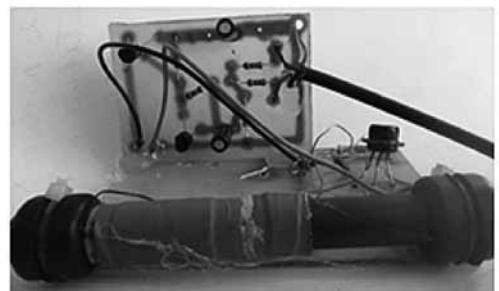
Рис. 15. Пример амплитудной модуляции при подаче звукового сигнала на базу транзистора

тоты транзистор VT3. В отсутствие входного звукового сигнала напряжение на коллекторе транзистора VT1, а следовательно, и на эмиттере транзистора VT2 будет приблизительно равно половине напряжения питания. Это напряжение устанавливается подбором резистора R4. Входной звуковой сигнал меняет напряжение питания транзистора VT3, чем обеспечивается амплитудная модуляция несущей частоты.

Действующий макет радиопередающего устройства FM-диапазона с частотной модуляцией

Я задумался, а как в такт с изменением амплитуды полезного сигнала можно изменять частоту несущих колебаний? И вспомнил, что, выполняя исследовательский проект «Знакомимся с мультивибратором», мною исследовалась схема двухфазного симметричного мультивибратора с плавной регулировкой частоты переключения (рис. 17), (прил. 3).

В этом устройстве частота переключения плавно регулировалась с помощью переменного резистора R3. Я решил попробо-



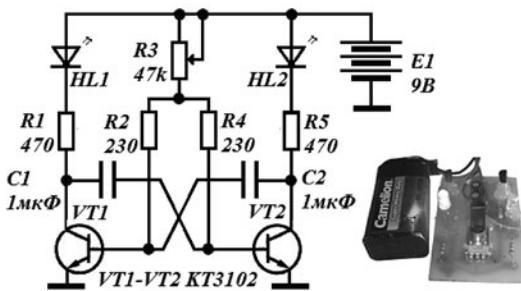


Рис. 17. Мультивибратор с плавной регулировкой частоты переключений

вать заменить его трансформатором, как это реализовано в предыдущей схеме передающего устройства (рис. 13). Для этого мне пришлось внести некоторые изменения в схему мультивибратора с плавной регулировкой частоты переключения (рис. 18).

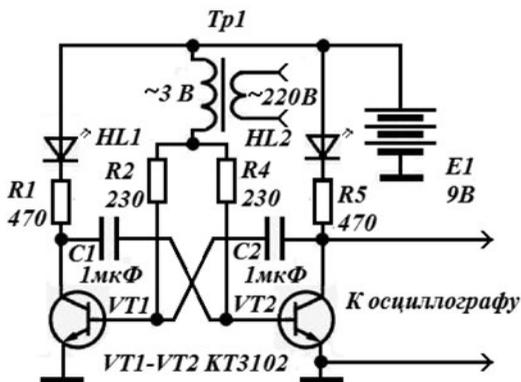


Рис. 18. Изменённая схема мультивибратора

На экране осциллографа отчетливо видны плавные изменения длительности генерируемых импульсов. Причём длительность этих импульсов изменяется пропорционально частоте переменного тока 50 Гц. Всё это прямо свидетельствует о наличии частотной модуляции несущей частоты частотой 50 Гц (рис. 19).

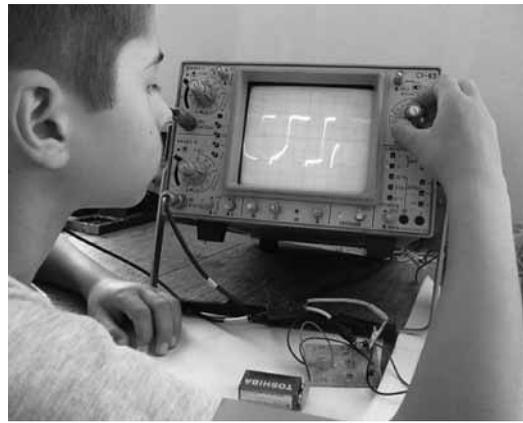


Рис. 19. Пример частотно модулированного сигнала

В Интернете я нашёл электрическую схему простого радиопередающего устройства ФМ диапазона, выполненного на базе симметричного мультивибратора, и решил повторить её (рис. 20) [8].

Лабораторные испытания подтвердили удовлетворительную работу этого устройства. Дальность уверенного приёма составила не менее 20 метров. Но, как и всем мультивибраторам, ему свойственна большая зависимость частоты генерируемых колебаний от состояния батареи. Этот недостаток выражается «уходом» частоты по мере разряда батареи.

Сравнительные характеристики макетов передающих устройств

Сравнению были подвергнуты три макета передающих устройств: передающее устройство на низких звуковых частотах (рис. 3); передающее устройство с амплитудной модуляцией средневолнового диапазона с усилителем звуковой частоты (рис. 16); FM передающее устройство на базе симметричного мультивибратора

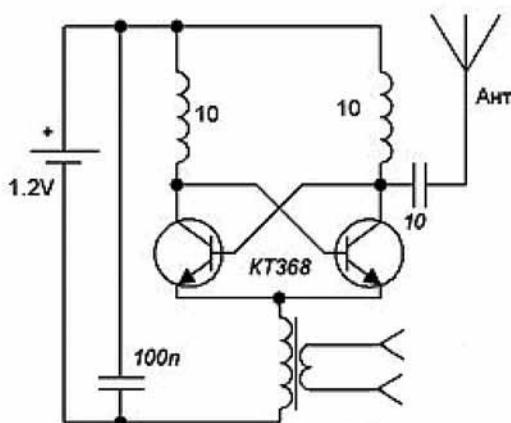
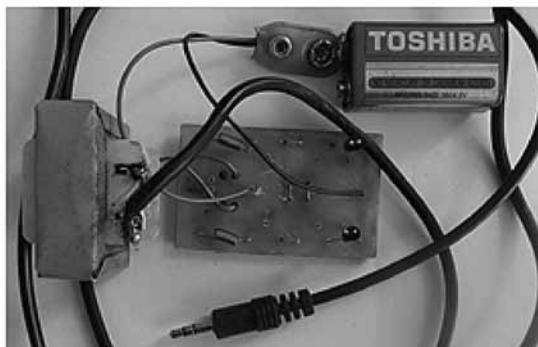


Рис. 20. FM-передающее устройство на базе симметричного мультивибратора



Сводные параметры действующих макетов передающих устройств

Модель макета	Напряжение питания (Вольт)	Потребляемый ток (Ампер)	Потребляемая мощность (Ватт)	Расстояние уверенного приёма (метр)
Передающее устройство на низких звуковых	9	0,6	5,4	0,7
Передающее устройство АМ СВ диапазона с УЗЧ	9	0,004	0,036	0,01
FM передающее устройство на базе мультивибратора	1,5	0,001	0,0015	20

(рис. 20). Параметры, по которым проводились сравнения, сведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показал, что увеличение несущей частоты радиопередающего устройства приводит к увеличению расстояния уверенного приёма и позволяет снизить потребляемую мощность. Проводя эксперименты с действующими макетами передающих устройств, я выяснил, что дальность уверенной передачи сигнала зависит не только от частоты, но и от среды, в которой распространяется радиоволна. Особенности распространения радиоволн различных частот — это станет темой моего следующего исследовательского проекта.

Литература

1. <http://www.sdelanounas.ru/blogs/30477/>
2. <http://www.rutraveller.ru/place/43401>
3. Борисов В.Г. Юный радиолюбитель. — 8-е изд. — 1992.
4. Скворень Р.А. От детекторного приёмника до супергетеродина. — 1963.
5. Иванов Б.С. Осциллограф — ваш помощник. Как работать с осциллографом.
6. <http://www.viol.uz/node/57>
7. Журнал «Радио». — № 7. — 1974.
8. http://cxema.my1.ru/publ/zhuchok_na_350_m/6-1-0-4619 