

собранных в форме многогранника, внутри которого магнитные поля удерживают облако электронов. В середине устройства образуется потенциал, используемый для ускорения и удержания ионов.

Другие способы удержания

Намагниченная термоядерная мишень — Намагниченная плазма сжимается до высоких плотностей и нагревается до больших температур. Отличие от традиционных методов заключается в том, что для удержания сжатого термоядерного топлива используется магнитное поле. Это позволяет увеличить нагрев топлива и уменьшить потери тепла.

Неконтролируемый метод — Предполагает использование взрыва водородной бомбы для инициации термоядерной реакции.

Ультразвуковой метод — Способ инициации термоядерной реакции в схлопывающихся кавитационных пу-

зырях газа, создаваемых в жидкости звуковыми волнами. Этот метод был дискредитирован в научных кругах.

Холодный ядерный синтез — Это гипотетический тип ядерной реакции, которая должна происходить при комнатной температуре. Этот метод получил плохую репутацию и признан антинаучным.

Мюонная катализация — Мюоны позволяют атомам сближаться, тем самым снижая порог энергии необходимой для инициации реакции синтеза. Этот метод непрактичен потому что требует больше энергии чем получится на выходе.

Сфера Дайсона — Этот метод предполагает использование вырабатываемой солнцем или любой другой звездой термоядерной энергии. Этот метод является самым перспективным, но текущего технического развития цивилизации недостаточно для воплощения в жизнь этого метода.

Литература:

1. С. Ю. Лукьянов. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. — Москва. — 1975, 398 с.
2. И. А. Котельников. Лекции по физике плазмы. — Новосибирск. — 1996, 138 с.
3. D. A. Shea, D. Morgan. The Helium-3 Shortage: Supply, Demand, and Options for Congress. — Washington. — 2010, 27 с.
4. Д. Рассел, Р. Кон. Управляемый термоядерный синтез. — Москва. — 2012, 104 с.
5. А. А. Акатов, Ю. С. Коряковский. Будущее ядерной энергетики, термоядерные реакторы. — Москва. — 2012, 20 с.

Принцип действия и конструктивные особенности самодельного импульсного грунтового металлоискателя

Станкевич Екатерина Александровна, студент
Лодзинский университет (Польша)

Научный руководитель: Купреева Марина Ивановна, учитель физики
ГУО «Лицей № 1 г. Гродно» (Беларусь)

В нашей работе описан принцип действия и конструктивные особенности самодельного импульсного грунтового металлоискателя. Что же это такое? Существует огромное множество видов металлоискателей. Они делятся по принципам работы и выполняемым задачам. Для нашей работы мы выбрали импульсный грунтовой металлоискатель. Мы остановили свой выбор именно на этом металлоискателе, так как в нем сочетаются качество и простота изготовления.

Объект исследования: металлоискатель.

Предмет исследования: изучение возможностей металлоискателя, исследование дальности работы прибора.

Гипотеза: возможно ли создание универсального металлоискателя для разных типов металла.

Цель: создать прибор для обнаружения металла, и выяснить условия максимальной эффективности его работы.

Задачи:

- Изучить теоретический материал о возможных типах металлоискателя
- Изготовить металлоискатель;
- Исследовать зависимость дальности обнаружения прибора от характеристик прибора и параметров искомого объекта;
- Полевые испытания;
- Обработка, систематизация и анализ результатов.

Методы исследования: изучение литературных данных, наблюдение, измерение, сравнение собранных данных, обобщение полученных данных.

Теоретическое исследование

Металлоискатели классифицируют по принципу работы и выполняемым задачам. Классификация по выполняемым задачам:

- Грунтовый;
- Военный;
- Досмотровый;
- Арочный (рамочный);
- Глубинный;
- Магнитометр.

Классификация по принципу работы:

- металлоискателей типа «передача-прием»;
- металлоискатель на «биениях»;
- металлоискатель по принципу электронного частотомера;
- Однокатушечный металлоискатель индукционного типа;
- Магнитометры;
- Радиолокаторы;
- Импульсные металлоискатели.

Получив краткое представление о возможных технологиях реализации конструкции детектора металла, мы выбрали те, которые можно реализовать в домашних условиях:

- Технология «Передача-прием»;
- Технология «Биений»;
- Технология электронного частотомера;
- Технология изменения индуктивности катушки;

— Технология сравнения длительности спада импульса на чувствительном элементе.

Свой выбор мы остановили на технологии сравнения длительности спада импульса, то есть на импульсном детекторе металла, так как он:

- Одни из самых чувствительных детекторов металла;
- При использовании низких частот (50–200 Гц) влияние наводок резко снижается;
- Имеет простую конструкцию чувствительного элемента (поисковой катушки).

Принцип работы импульсного детектора металла:

На поисковую катушку подается короткий импульс, что вызывает вихревые токи у мишени, в свою очередь вихревые токи тормозят спадание поданного импульса в поисковой катушке. Именно сравнение длительности импульса с эталоном дает знать обнаружен объект или нет.

Импульсная технология детектора металла имеет один минус — это затруднение селекции металлов.

Принцип действия выбранной схемы детектора металла

Условно прибор можно разбить по структурной схеме (рис. 1) на передающую часть, чувствительный элемент и приемную часть.

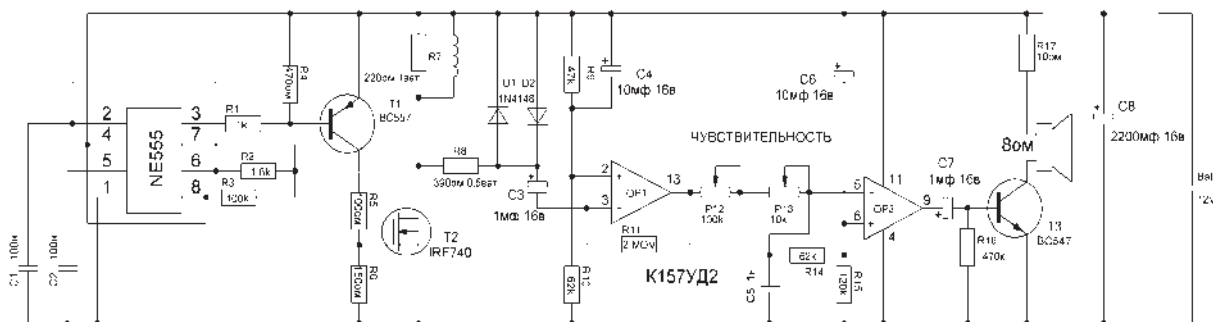


Рис. 1.

Изначально в передающей части, которая построена на микросхеме генератора МК1, T1, T2, формируется импульс накачки катушки, то есть в обвязке МК1 задается режим работы таймера, при чем расчетная длительность импульса с третьей ноги МК1 равна $T = R3 \cdot C1$. Каскад R1 и R4 выступает в роли делителя напряжения, далее сигнал поступает на T1, где инвертируется и первично усиливается, далее сигнал поступает на затвор T2, мощный полевой транзистор, который подключен в роли ключа и зашунтирован обратным диодом. После подачи сигнала, транзистор отпирается и через катушку проходит мощный короткий импульс. Далее сигнал с катушки снимается через RC-цепочку состоящую из R8 и C3 (сначала импульс накачки, а потом импульс ЭДС самоиндукции). C3 включен в схему для фильтрации от постоянного напряжения. После C3 сигналы поступают на вход (третья нога) МК2 (операционный усилитель), где инвертируется и усиливается. Причем выходное (на 13 ноге МК2) напряжение

задается делителем напряжения на R9 и R10 именно он является токозадающей цепочкой всего усилителя. Работу прибора можно условно разделить на три этапа:

Состояние, когда конденсаторы C5 и C6 заряжаются до некоторого уровня, причем напряжение на C5 заведомо больше, чем на C6.

Еще нужно знать, что вторая часть МК2-это компаратор, он может находиться в двух состояниях:

В первом состоянии, когда разница напряжений на пятой и шестой ноге МК2 больше критической, в таком положении напряжения на выходе (9 нога МК2) нет или оно слишком мало.

Во втором, когда разница напряжений на пятой и шестой ноге МК2 дошла до критической отметки, то компаратор резко выдает напряжение на 9 ноге МК2.

Состояние, когда действует импульс накачки. В этот момент импульсом накачки C5 и C6 еще раз заряжаются до некоего значения напряжения, но так как емкость C6 зна-

чительно больше емкости C_5 , то можно считать, что напряжение на C_6 осталось неизменным, а на C_5 возросло.

Состояние, когда действует измерительный импульс (эталонный, ЭДС самоиндукции). Так как он противоположен по знаку, C_5 и C_6 начнут разряжаться через R_{13} , R_{12} и R_{11} . Собственно из-за того, что у C_6 довольно большая емкость, то напряжение на нем практически не изменится, а вот напряжение на C_5 , начнет падать. Вот эта ситуация нам и покажет, есть мишень или нет. Из курса физики 10 класса мы знаем, что наличие сердечника (в нашем случае мишени) тормозит спад ЭДС или увеличивает время его действия. Для нашей ситуации это значит, что мишень увеличит падение напряжения на C_5 ,

что вызовет срабатывание компаратора, после чего в динамике мы услышим щелчок.

Сборка металлоискателя

Металлоискатель собирался полностью вручную. Для сбора металлоискателя были проделаны следующие действия:

1. Сбор необходимой информации;
2. Создание рисунка дорожек платы в программе spirit layout по принципиальной схеме, которая была найдена в интернете.

Версия с внесенными в нее изменениями для проведения экспериментального исследования представлена на рис. 2.

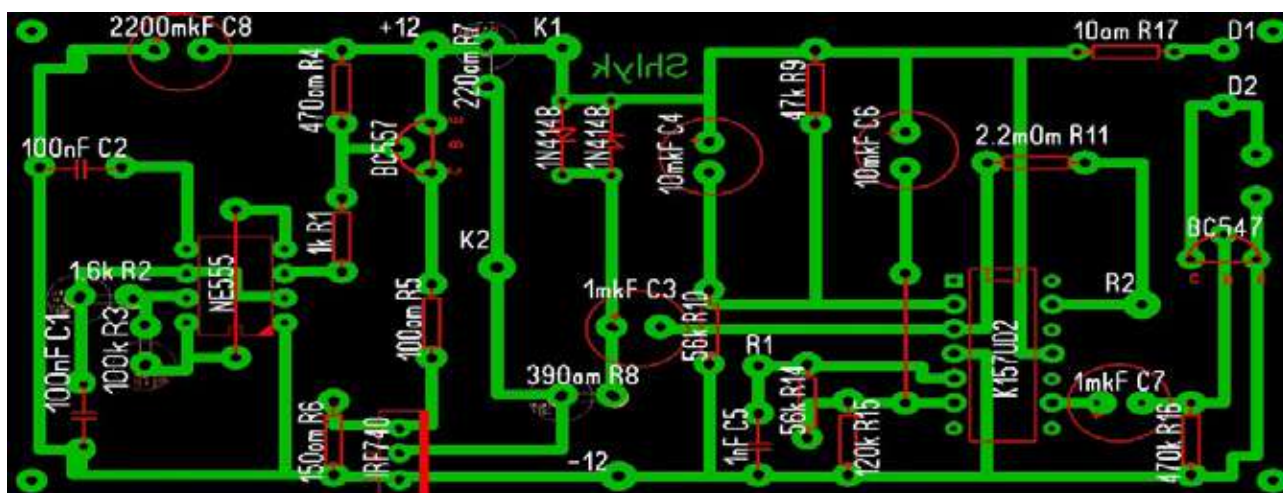


Рис. 2.

3. Изготовление печатных плат;

Понадобится:

- фольгированный текстолит;
- утюг;
- Железо (III) хлорид ($FeCl_3$)
- ацетон;
- обычная офисная бумага;
- наждачная бумага.

Вначале следует распечатать рисунок платы, которая была создана в предыдущем пункте на лазерном принтере. Одно из важнейших условий — это именно лазерный принтер. Необходимо учитывать то, что со струйного принтера рисунок на плату не переводится, а с лазерного идёт порошок, он нагревается и остается на бумаге.

Далее вырезаем кусочек текстолита, совпадающий по размерам с распечатанным рисунком платы. Его зачищаем наждачной бумагой. Обезжириваем поверхность ацетоном для того, чтобы хорошо ложился тонер (порошок, который находится в картриджах принтера, собственно, благодаря которому, на бумаге появляется изображение).

Совмещаем распечатанный рисунок платы с текстолитом, прикладываем утюг. Утюг соприкасается с бумагой

до тех пор, пока не проявится рисунок, далее его убираем. Размачиваем бумагу под холодной водой.

Готовим раствор хлорного железа в ванночке с плоским дном. Кладем плату в ванночку (рис. 3).

Постепенно места, на которых отсутствует тонер, растворяются (рис. 4), останутся дорожки, которые можно использовать для монтажа элементов схемы;

4. Монтрование компонентов;
5. Добавление переменных резисторов для изменения частоты работы прибора и длительности импульса, подаваемого на поисковую катушку прибора;
6. Наматывание лакированного провода на катушку диаметром 28 см. Количество витков равно 35.

Экспериментальное исследование

Эффективность прибора зависит от характеристик исследуемого и искомого объекта, а так же от среды, в которой находится предмет.

В роли исследуемого объекта выступает сам металлоискатель, а в роли искомого — предположительно, найденный предмет.

В ходе эксперимента у исследуемого прибора будут изменяться следующие характеристики:



Рис. 3.

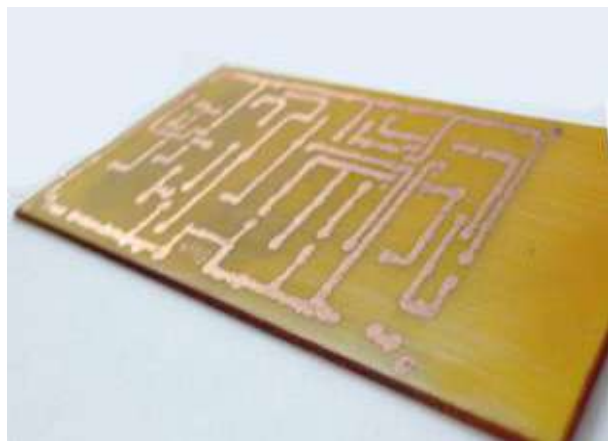


Рис. 4.



Рис. 5. Металлоискатель в разобранном виде



Рис. 6. Собранный металлоискатель

— Параметры чувствительного элемента (площадь контура, число витков катушки, длина выводных проводов и т. д.);

- Входное напряжение;
- Частота работы передающей части;
- Расчетный коэффициент усиления операционного усилителя (приемная часть).

У искомого объекта изменяется:

- Площадь контура
- Форма объекта.

Для получения зависимости мы проследим за работой детектора металла в различных средах (воздух, вода, песчаный грунт, чернозем, соль).

Исследуемый предмет

Диаметр катушки

После изменений диаметров катушек было отмечено, что катушки с большим диаметром (40–50 см) перестают замечать мелкие предметы, а катушки с малым диаметром (5–10 см), хуже реагируют на большие предметы.

Количество витков

Намотав заведомо большее количество витков на катушку (чувствительный элемент), мы обнаружили, что прибор вовсе не реагирует на мишени любых размеров. Постепенно отматывая витки и убирая лишний провод, мы сделали вывод, что у катушки должна быть определенная индуктивность (от 320 до 470 мГн). Нужно заме-

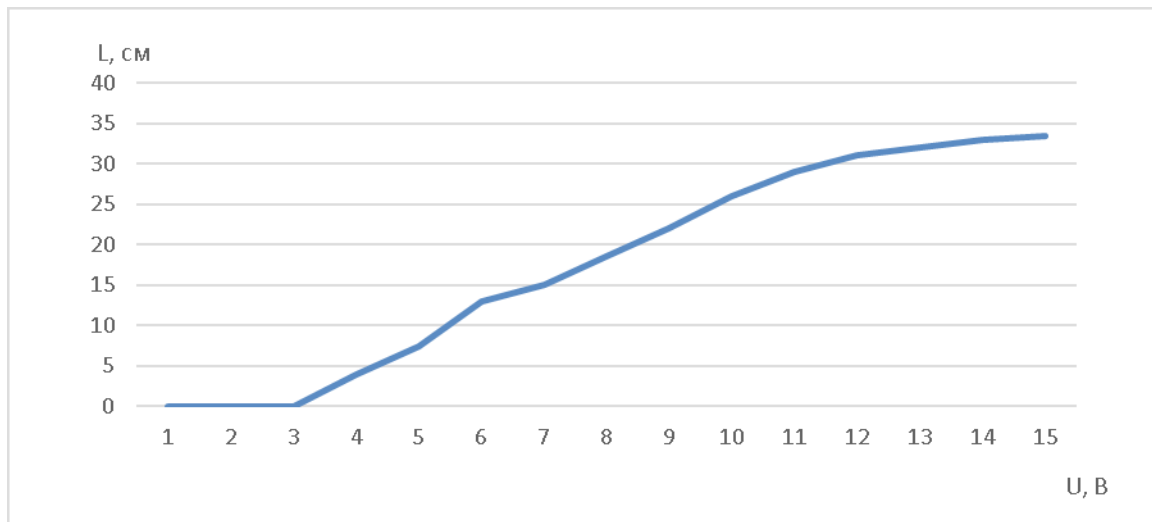


Рис. 7.

тить, что расчетная и измеряемая индуктивность сильно отличаются.

Входное напряжение

Далее мы меняли входное напряжение и измеряли дальность обнаружения мишени (юбилейная монета в 5 рублей СССР):

Следует отметить, что входное напряжение очень важно. Исходя из графика (рис. 7), можно заметить, что металлоискатель стал находить предмет только при напряжении 4 В, а максимальная дальность обнаружения была достигнута при максимальном напряжении в 15В. Повышение напряжения далее было невозможным, так как было достигнуто максимальное допустимое напряжение для взятых компонентов (пробивное постоянное напряжение конденсаторов 16В). Увеличение напряжение влияет на усиление магнитного поля и увеличение дальности обнаружения предмета.

Частота работы прибора

Из описания включения микросхемы генератора мы выяснили, что частото задающим элементом является резистор R3, по формульным расчетам мы выяснили, что по авторским номиналам частота работы прибора составляет порядка 120 Гц. Для изменения частоты работы генератора вместо постоянного сопротивления R3 (100 кОм) мы впаяли переменный резистор на 220 кОм.

Исследования показали, что детектор металла начинает вообще реагировать на мишени при частоте 50 Гц, но чувствительность составила 2–3 см на холодильник. Далее мы постепенно повышали чувствительность и выяснили, что нормальная работа прибора возможна при 100–200 Гц, при слишком низких частотах в динамике (индикатор оповещения) мы слышали гул низкой частоты, а при высоких — в динамике были слышны громкие всплески и было замечено, что некоторые компоненты стали нагреваться.

Потребление тока

При изменении напряжения было замечено, что в рабочем состоянии при 4 В потребление тока составило порядка 20 мА без присутствия мишени, а при напряжении в 15 вольт прибор потреблял порядка 50–60 мА. Вывести зависимость $I(U)$ нам не удалось, так как изменение потребления находилось на уровне погрешности амперметра в блоке питания.

Изучив работу микросхемы и ее обвязку, мы выяснили, что за длительность генерируемого импульса отвечает R2 (1.6 кОм). Также было замечено, что изменение данного сопротивления нарушало работу всего прибора, хотя с уменьшением сопротивления R2, потребление тока заметно увеличивалось.

Искомый объект

Площадь контура

Пытаясь узнать то, от чего зависит дальность обнаружения мишени мы провели ряд опытов.

В качестве мишени в первом опыте мы использовали моток лакированной проволоки весом в 500 г с незамкнутым контуром, реакции прибора не последовало. Замкнув концы проволоки, мы услышали пиковый сигнал динамической головки.

На основании этого мы выяснили, что мишень должна иметь замкнутый контур.

Во втором опыте мы взяли кусочек текстолита размером 14 на 14 см, определили дальность его обнаружения. Она составила порядка 60–65 см. Взяв два таких же кусочка текстолита и совместив, мы определили, что чувствительность относительно не изменилась, она стала порядка 70 см. Далее мы выставили эти два кусочка в одну плоскость и выяснили, что чувствительность улучшилась до 85 см. По результатам данного опыта мы решили вывести зависимость дальности обнаружения (L , см) от площади замкнутого контура (S , см²) тонкой проволоки диаметром сечения 0.31 мм.

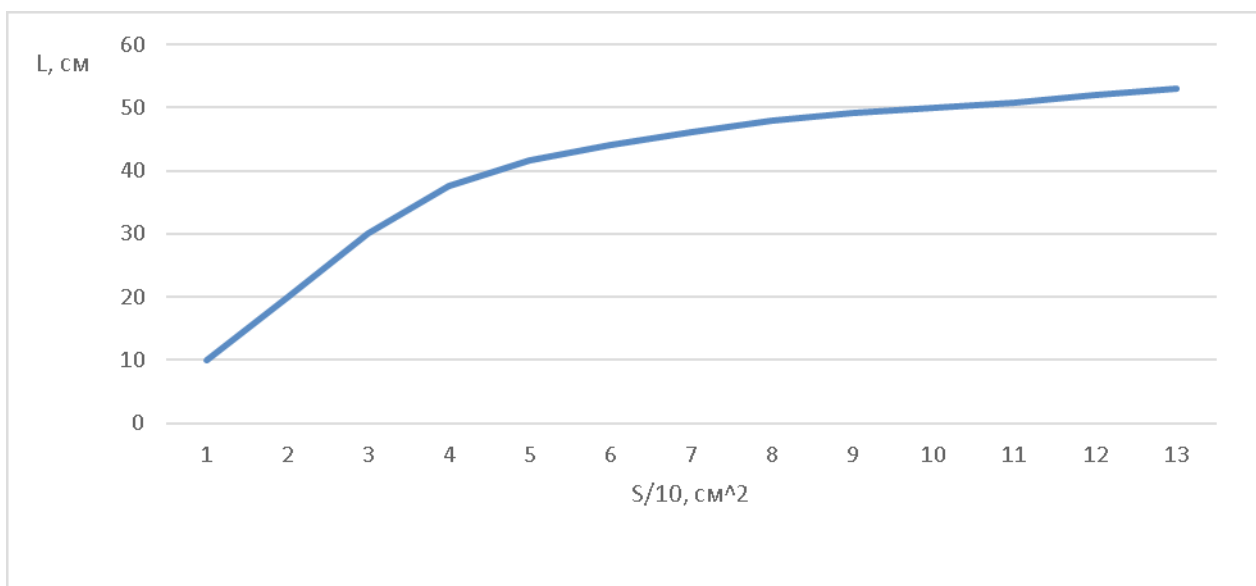


Рис. 8.

Построив график зависимости (рис. 8), мы получили то, что на максимально возможных S контура при наших размерах помещения, график зависимости постепенно выравнивается. Мы считаем, что это свидетельствует о том, что есть определенная максимальная дальность обнаружения мишени.

Так же было замечено, что при переключении мишени в виде замкнутого кольца проволоки в «8» обнаружения мишени не последовало. Мы считаем, что у мишени возникает два направления вихревых токов, которое компенсируют друг друга.

Зависимость дальности обнаружения мишени от среды показало следующие результаты:

Ложных срабатываний на грунт, воду, химическое удобрение не обнаружено;

Следует отметить, что при поиске мишени небольших размеров (гайки от крепления потенциометра диаметром 10 мм) в песке с солью, которым посыпают дороги в гололед, средняя дальность обнаружения составила порядка 11.3 см, а при измерении в воздухе, воде и лесной почве дальность обнаружения при одной и той же подстройке прибора составила при многократном измерении порядка 10.4 см.

Основываясь на том, что наш прибор построен на сравнении длительности двух импульсов, мы предположили следующую гипотезу. Она заключается в том, что грунт даже на низких частотах оказывает влияние на чувствительный элемент, вызывая незначительное замедление затухания импульса в катушке. Чувствительности связана с тем, что настраивая детектор металла по воздуху, мы уменьшаем разницу в длительности между импульсом эталона и импульсом на катушке. При этом длительность импульса эталона заведомо больше. Поднося прибор к грунту, длительность импульса на катушке увеличивается, но все равно не превосходит эталон.

Построенную гипотезу об удлинении импульса под воздействием грунта мы решили обосновать на эксперименте. Если принять во внимание, что помещение, где проводились измерения идеальное, то изначальное влияние наводящих токов среды равно нулю, если настроить прибор на полное отсутствие щелчков, но максимальную чувствительность, то прибор покажет в среднем 9.8 см на ту же гайку. Если взять кусок текстолита размером 14 на 14 см и найти расстояние, при котором реакции на мишень нет, 70 см, и зафиксировать это положение, а после поднести мишень, то прибор начинает срабатывать при 14–15 см.

Эта грубая аналогия доказывает, что грунт тоже оказывает влияние на затухание импульсов в чувствительном элементе, хотя и в незначительной мере, что обеспечивает лучшую подстройку.

Внесение модификаций и замечания в схему металлоискателя

1) Для более удобной работы прибора в слабо замусоренных участках необходимо наличие третьего потенциометра на 1 кОм для более тонкой настройки прибора.

2) Для уменьшения влияния помех необходимо экранировать корпус прибора, оставив без экрана провод на катушку.

3) Так как в схеме были указаны номиналы сопротивлений, которые обеспечивали оптимальную работу прибора с авторской катушкой, мы считаем, что для лучшей настройки прибора под каждую катушку необходимо использовать переменные сопротивления. R7 — улучшает добротность чувствительного элемента (от 20 до 300 Ом). R3-отвечает за частоту работы прибора. Настройка помогает улучшить синхронизацию основных узлов прибора (от 40 до 150 кОм).

4) Все конденсаторы лучше использовать металлопленочные или многослойные керамические, так как нагревание компонентов приводит к нарушению работы прибора.

5) Для уменьшения влияния помех лучше всего скручивать все провода в витые пары, это связано с тем, что провод создает свое отдельное поле и влияние помех резко снижается.

Настройку прибора лучше всего производить при том входном напряжении, с которым будет связана работа прибора в дальнейшем.

Полевые испытания

Для проверки работоспособности металлоискателя были проведены полевые испытания. Они проводились в разных частях Гродненской области. В результате этих испытаний были найдены следующие предметы:

Обнаруженный предмет: гильза с химическим карандашом (рис. 9).

Место обнаружения предмета: Гродненская область, Гродненский район, вблизи д. Конюхи

Дата обнаружения: 05.09.2015



Рис. 9.

Обнаруженный предмет: неизвестно (рис. 10).

Место обнаружения предмета: Гродненская область, Вороновский район, г. п. Радунь

Дата обнаружения: 20.10.2015



Рис. 6.

Обнаруженный предмет: железнодорожная пломба (рис. 11).

Место обнаружения: Гродненская область, Зельвенский район, г. п. Зельва

Дата обнаружения: 10.01.2016



Рис. 11.

Для установления принадлежности предметов было принято решение отдать их в музей. Так как первый предмет, как было установлено, принадлежит к временам Великой Отечественной войны, то было принято решения вручить его музейной комнате в Лицее № 1 г. Гродно «Отечество».



Рис. 12.

Выводы

1. Нами было исследованы источники информации. Мы смогли узнать, что металлоискатели делятся по двум принципам: по принципу работы и по выполняемым задачам. С помощью теоретического исследования мы смогли остановить свой выбор на импульсном металлоискателе.

2. Был собран импульсный металлоискатель, модифицирована схема, что позволило в дальнейшем достигнуть максимальной чувствительности.

3. Изменяя различные характеристики прибора, максимальная чувствительность была достигнута при входном напряжении равном 15 В, при диапазоне частоты от 100 до 200 Гц, так как этот диапазон оптимален для данного типа металлоискателей. У металлоискателя есть два режима: режим покоя и режим работы. Режим покоя-это режим поиска, а режим работы — это момент, когда металлоискатель находит металл и издает звуковой сигнал. Для качественной работы прибора было установлено, что в режиме покоя металлоискатель потребляет 20 мА, а в режиме работы — 70 мА.

На уроках физики, изучая магнитные поля, мы рисовали поле силовыми линиями. Проведя измерения дальности обнаружения мишеней различной формы, можно провести аналогию, которая заключается в том, что дальность обнаружения зависит от количества пересеченных условных силовых линий поля. А значит дальность обнаружения практически любой мишени можно определить с помощью формулы. Что же касается среды, то можно сделать вывод, что на низких частотах работы прибора влияния грунта на чувствительный элемент не обнаружено. Благодаря нашему исследованию, возможно добиться максимальной дальности обнаружения предполагаемых мишеней.

4. Нами были проведены полевые испытания в разных районах Гродненской области. Были найдены предметы, которые были переданы в музейную комнату для пополнения коллекции, а также для дальнейшего установления принадлежности предметов.

5. Таким образом, хочется отметить, что проведенные нами исследования имеют ценное практическое значение. Во-первых, теперь для сбора самодельного металлоискателя четко выработана схема и план действий. Во-вторых, эта работа может послужить хорошим источником информации для радиокружков школьного уровня. В-третьих, металлоискатели незаменимы в строительстве при обнаружении подземных коммуникаций (теле-, силовые-кабели, водо-, газо- провод,), так же проводка в стенах. Сочетая в себе доступность сборки и качество прибора, самодельный металлоискатель можно использовать для работы историко-археологических групп школьников. Это будет способствовать пополнению коллекций экспонатов школьных музеев и открытию новых, способствуя развитию интереса к истории нашей страны и воспитанию патриотизма у учащихся.

Литература:

1. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]/Металлоискатель. — Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Металлоискатель>. — Дата доступа: 21.12.2015.
2. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]/Эпоксидная смола. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Эпоксидная_смола. — Дата доступа: 21.12.2015.
3. Вопрос-ремонт. ру [Электронный ресурс]/ Самодельные металлоискатели: простые и посложнее — на золото, черный металл, для стройки. — Режим доступа: <http://vopros-remont.ru/elektrika/metalloiskatel-svoimi-rukami/>. — Дата доступа: 21.12.2015.
4. Дубровский, С.Л. Как собрать металлоискатель своими руками / С.Л. Дубровский — СПб.:Наука и техника,2010—567 с.