

УДК 621.38

**АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ОСВОЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ КОМПОНЕНТОВ ПРИ СБОРКЕ
МЕТАЛЛОДЕТЕКТОРА
ELECTRICAL CIRCUIT ANALYSIS AND SOLDERING
TECHNIQUES FOR COMPONENT ASSEMBLY
IN A METAL DETECTOR PROJECT**

Н.В. Климов, С.А. Леонов

Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил
«Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и
Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

Научный руководитель: И.Г. Иванова

преподаватель кафедры общепрофессиональных дисциплин

Аннотация. В статье рассматривается процесс практического закрепления навыков чтения электрических схем и выполнения монтажных работ на примере сборки металлодетектора, работающего на принципе биений. Актуальность темы обусловлена необходимостью подготовки военных специалистов, способных осуществлять диагностику и ремонт радиоэлектронной аппаратуры в полевых условиях. Проведен анализ принципиальной схемы устройства, описана технология пайки компонентов, представлены результаты испытаний собранного макета. Полученные навыки являются фундаментальными для специалистов инженерных войск и войск связи.

Ключевые слова: металлодетектор, принцип биений, электрическая схема, технология пайки, радиоэлектронная аппаратура, военно-техническая подготовка.

Abstract. The article examines the process of practical consolidation of skills in reading electrical circuits and performing installation work using the example of assembling a beat-frequency metal detector. The relevance of the topic is driven by the need to train military specialists capable of diagnosing and repairing electronic equipment in field conditions. An analysis of the device's schematic diagram has been carried out, the component soldering technology has been described, and the test results of the assembled prototype are presented. The acquired skills are fundamental for specialists in engineering troops and signal corps.

Keywords: metal detector, beat frequency principle, electrical circuit, soldering technology, electronic equipment, military-technical training.

Современные Вооруженные Силы характеризуются тотальной насыщенностью радиоэлектронной аппаратурой (РЭА). От систем связи и управления до комплексов радиоэлектронной борьбы – повсеместно требуется глубокое понимание принципов работы электронных устройств. Умение не только читать электрические схемы, но и практически

реализовывать их, проводя качественный монтаж, является ключевым для специалистов инженерных войск, войск связи и многих других подразделений.

Как отмечается в описании практических занятий учебного военного центра, знания, полученные при освоении технологии пайки, «несомненно помогут выпускникам в дальнейшей службе на должностях инженеров узлов связи Вооружённых Сил Российской Федерации» [4]. Применение активных методов обучения дает положительный эффект в качественном усвоении материалов занятий.

Целью настоящей работы стало практическое закрепление навыков анализа схем и электромонтажа на примере сборки металлодетектора – устройства, чей принцип действия лежит в основе многих более сложных систем обнаружения. Для достижения цели решались следующие задачи: изучить и проанализировать схему металлодетектора; освоить технологию пайки электронных компонентов; собрать и испытать действующий макет.

В основе работы большинства простых металлодетекторов лежит метод биений (BFO – Beat Frequency Oscillation). Данный метод основан на реакции входного импеданса приемника на электромагнитные свойства зондируемой среды и заключается в регистрации разности частот сигналов от двух генераторов. Один из них (опорный) имеет фиксированную настройку, а частота другого (поискового) изменяется при приближении прибора к металлическому предмету [1].

Принцип действия заключается в следующем: частота поискового генератора напрямую зависит от параметров его колебательного контура, главным элементом которого является катушка индуктивности. При внесении металлического предмета в электромагнитное поле катушки ее индуктивность изменяется, что вызывает изменение частоты генератора [5]. Сигналы от обоих генераторов подаются на смеситель, на выходе которого формируется разностная частота (биения). Изменение тона этой частоты индицирует наличие металлического объекта.

Функционально устройство может быть разделено на несколько основных блоков: два генератора, смеситель, фильтр, усилитель низкой частоты и устройство вывода (динамики или головные телефоны). Такой структурный анализ является обязательным этапом перед чтением полной принципиальной схемы.

Принципиальные электрические схемы представляют собой графические изображения, служащие для передачи с помощью условных графических и буквенно-цифровых обозначений связей между элементами электрического устройства. Они разрабатываются согласно требованиям стандартов и определяют полный состав элементов и устройств с соответствующими физическими связями [3].

В ходе работы была проанализирована принципиальная схема металлодетектора, построенного по методу биений. В состав схемы входят следующие компоненты:

- микросхема (или транзисторы) – выполняет функцию генераторов и усилителя;
- резисторы – задают рабочие режимы активных элементов;
- конденсаторы – совместно с катушкой индуктивности формируют частоту генерации, а также используются для фильтрации помех;
- катушка индуктивности – является чувствительным элементом (поисковым датчиком);
- динамик – преобразует электрический сигнал в звуковой;
- источник питания – обеспечивает электропитание схемы.

В принципиальных электрических схемах отдельные элементы и устройства принято показывать с помощью стандартных условных графических и буквенных обозначений. Чтение такой схемы позволяет не только понять путь прохождения сигнала, но и рассчитать примерные параметры устройства, включая рабочую частоту колебательных контуров.

После анализа схемы был выполнен переход к практической части – монтажу устройства. На первом этапе осуществлялся подбор необходимых компонентов в соответствии со спецификацией, а также подготовка инструмента: паяльника с подставкой, припоя, флюса, пинцета, бокорезов. Соблюдение мер безопасности (использование вентиляции, защитных очков) являлось обязательным условием выполнения работ.

Ключевым процессом электромонтажа является пайка, качество которой напрямую определяет надежность всего устройства. Согласно ГОСТ Р 56427-2022, устанавливающему технические требования к выполнению технологических операций пайки электронных модулей, необходимо руководствоваться стандартизированными подходами к формированию паяных соединений [2].

В процессе работы соблюдались следующие правила:

- обязательное лужение жала паяльника и выводов компонентов;
- одновременный прогрев вывода компонента и контактной площадки на плате;
- подача припоя в точку контакта, а не на жало паяльника;
- контроль качества формируемого соединения.

Качественное паяное соединение должно иметь блестящую поверхность, без трещин и холодных спаев. «Холодная» пайка и перегрев компонентов являются основными дефектами, которых необходимо избегать. ГОСТ Р 56427-2022 также подчеркивает важность защиты от влияния статического электричества на всех этапах производства и монтажа [2].

Процесс сборки велся от малогабаритных элементов к более крупным: сначала монтировались резисторы и диоды, затем конденсаторы, и в последнюю очередь – соединители и разъемы.

Особое внимание уделялось соблюдению полярности у электролитических конденсаторов и полупроводниковых приборов. В результате была получена аккуратно собранная печатная плата, подготовленная к испытаниям.

На этапе испытаний собранного устройства проверялись следующие параметры:

- потребляемый ток – соответствие расчетным значениям.
- наличие звукового сигнала при включении питания.
- реакция устройства на поднесение металлических предметов различных типов.

Испытания подтвердили правильность сборки и работоспособность устройства: при поднесении металлических предметов к поисковой катушке тон звукового сигнала изменялся. Как отмечается в литературе, по высоте звука можно ориентировочно судить о расстоянии до объекта и его свойствах [1].

Были определены практические характеристики собранного образца, включая максимальную дальность обнаружения эталонного предмета (монеты). Для металлодетекторов, работающих на принципе биений, дальность обнаружения зависит от диаметра катушки: с увеличением диаметра чувствительность возрастает, однако точность определения местонахождения объекта снижается [1].

По результатам выполненной работы могут быть сформулированы следующие выводы. Проведен теоретический анализ электрической схемы и принципа действия металлодетектора, построенного по методу биений. Подтверждена корректность выбранного схемотехнического решения. На практике освоена технология монтажа и пайки электронных компонентов с соблюдением требований нормативной документации. Результатом сборки стало функционирующее устройство, подтвердившее теоретические предпосылки о возможности обнаружения металлических предметов по изменению частоты биений.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные навыки являются фундаментальными для военного специалиста. Они позволяют проводить диагностику, оперативный ремонт и обслуживание сложной радиоэлектронной аппаратуры в условиях, когда штатные ремонтные органы недоступны. Эти умения повышают автономность и боевую устойчивость подразделений. Как подчеркивается в руководстве по подготовке военных инженеров-связистов, практические занятия по пайке и монтажу формируют компетенции, необходимые для эксплуатации современных средств связи [4].

Список литературы

1. Внимание! Металл // Моделист-конструктор: сайт. – 2025. – URL: [https:// modelist-konstruktor.com / pribory-pomoshniki /vnimanie - metall](https://modelist-konstruktor.com/pribory-pomoshniki/vnimanie-metall) (дата обращения: 02.03.2026).
2. ГОСТ Р 56427-2022. Пайка электронных модулей радиоэлектронных средств. Автоматизированный смешанный и поверхностный монтаж с применением бессвинцовой и традиционной технологии. Требования к технологии сборки и монтажа. – Москва: Российский институт стандартизации, 2022. – 32 с.
3. Козлов С.И. Особенности чтения принципиальных электрических схем систем автоматизации / С.И. Козлов, В.М. Кузюр, С.И. Будко, И.В. Кузьменко // Вестник Брянской ГСХА. – 2024. – № 2 (102). – С. 55–60.
4. Практика – фундамент знаний инженера // Учебный военный центр СПбГУТ: сайт. – 2016. – URL: <https://mil.spbsut.ru/post/13725> (дата обращения: 02.03.2026).
5. Изготовление металлоискателя самостоятельно в домашних условиях: схема // 32 Сварка: сайт. – 2021. – URL: <https://32svarka.ru/raboty-s-metallami/metalloiskatel-na-k561la7-shema.html> (дата обращения: 02.03.2026).
6. Будни учебы студентов 4-го курса учебного военного центра Института военного образования // Учебный военный центр СПбГУТ: сайт. – 2013. – URL: <https://mil.spbsut.ru/post/5301> (дата обращения: 02.03.2026).
7. Гибридный способ обнаружения подповерхностных металлических объектов: патент RU 2743495 C1 / А.Н. Щукин, А.В. Морозов, А.О. Жуков, И.И. Бобров. – Оpubл. 18.02.2021. – 12 с.