

# Двухчастотный металлоискатель КОЩЕЙ-ВМ8043

А. Щедрин, Ю. Колоколов

---

## Введение

Теоретические вопросы и наша точка зрения на принципы работы многочастотных металлоискателей были подробно изложены в статье [1]. На основе этих принципов нами был разработан двухчастотный индукционный металлоискатель, который по своим характеристикам не уступает дорогостоящим моделям металлоискателей ведущих производителей. Теперь высококлассная поисковая техника станет доступной широкому кругу радиолюбителей, благодаря фирме Мастер Кит, которая на основе нашего прибора освоила выпуск недорогого набора КОЩЕЙ-ВМ8043. (КОЩЕЙ=КОлоколов+ЩЕдрин+Й ☺)

В предлагаемой вашему вниманию статье описаны схемные и конструктивные решения, которые воплощены в этом приборе. Для более полного понимания работы металлоискателя КОЩЕЙ-ВМ8043 рекомендуется также ознакомиться с инструкцией по эксплуатации [2].

## Основные технические характеристики

*Максимальная глубина обнаружения объектов(по воздуху):*

*Монета диаметром 25мм* – до 30см;

*Каска* - до 1м;

*Максимальная глубина* - до 2м;

*Индикация:*

*Визуальная* графическая и текстовая, ЖКИ 132 на 32 точки;

*Звуковая* многотональная;

*Режимы поиска* селективный и неселективный;

*Количество рабочих частот* 2 (7 и 14кГц);

*Потребляемый ток*

*на частоте 7кГц, не более* 180мА;

*на частоте 14кГц, не более* 100мА;

*Диаметр датчика* 195мм;

## Структурная схема

Структурная схема металлоискателя Кощей-ВМ8043 изображена на Рис.1. Как видно из схемы, рассматриваемый металлоискатель имеет два принципиальных отличия от классических одночастотных приборов:

1. Передающий и приемный тракты имеют широкую полосу пропускания.
2. Для детектирования сигнала используется единственный коммутируемый синхронный детектор (причем он используется для детектирования на всех рабочих частотах).



Рис.1. Структурная схема металлоискателя.

## Принципиальная схема

Принципиальная схема металлоискателя Кощей-18М изображена на Рис.2 и Рис.3.



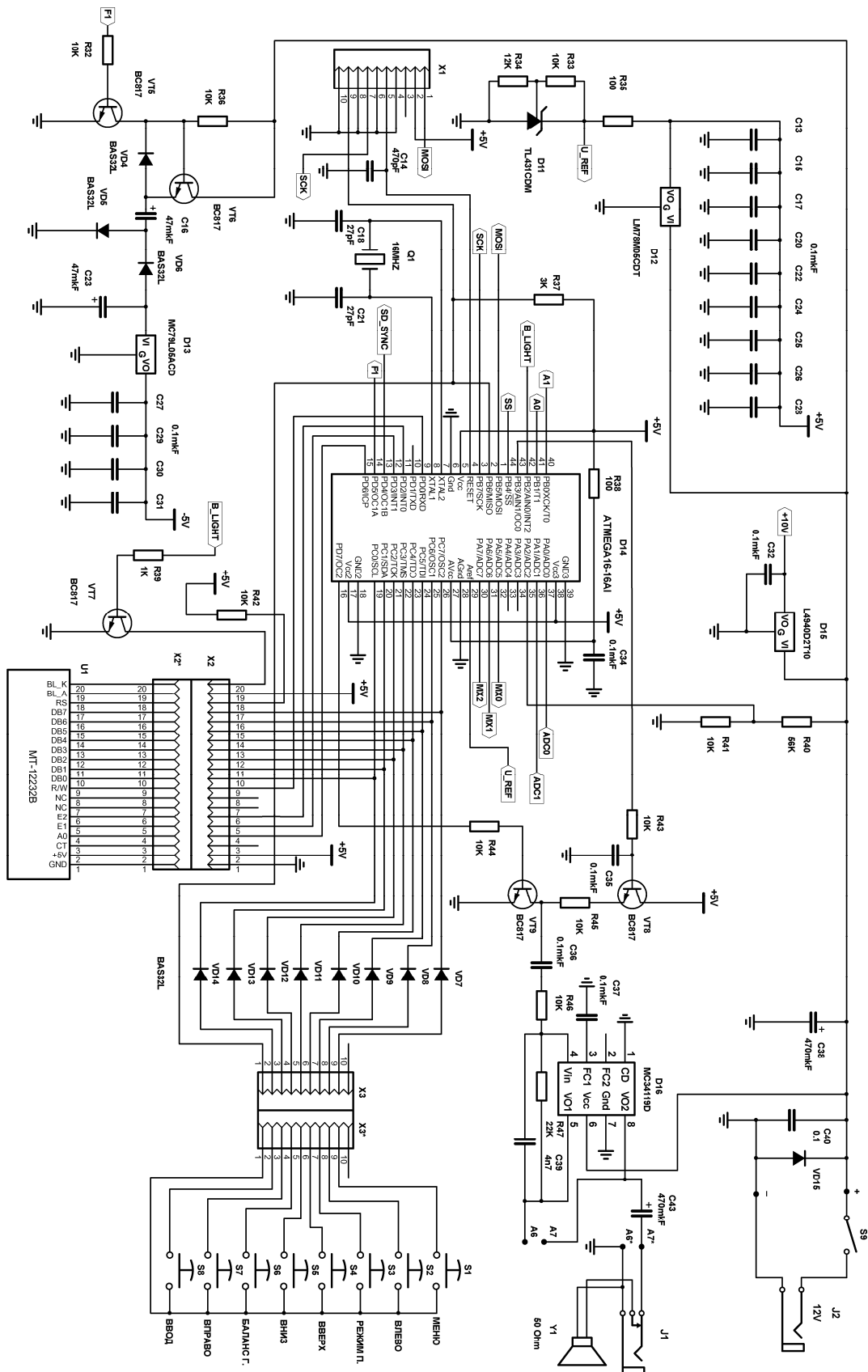


Рис. 3. Схема принципиальная – часть 2.

Передающий каскад металлоискателя выполнен на микросхемах D1...D3 и транзисторах VT1...VT4 и представляет собой типовую рекуперационную мостовую схему, которая широко применяется, например, в импульсных источниках питания. Микросхема D1 используется для инверсии сигнала. Микросхемы D2,D3 типа IR2104S представляют собой т.н. полумостовые драйверы, которые управляют транзисторами VT1...VT4. В схеме использованы транзисторы типа IRFR1205, которые обладают очень низким сопротивлением (менее 0,1 Ом!) в открытом состоянии. Это необходимо для достижения высокого КПД рекуперации. Электролитические конденсаторы C41,C42 участвуют в процессе рекуперации в качестве аккумулятора энергии.

Входной усилитель выполнен на микросхеме D4. В схеме используется малошумящий термостабильный операционный усилитель типа OP27GS. Для управления коэффициентом усиления входного усилителя служит коммутатор D9. Коэффициент усиления может принимать восемь фиксированных значений.

Синхронный детектор в этом приборе имеет в своей основе широко известную схему и реализован на операционном усилителе D6 и аналоговом коммутаторе D7. Отличительная особенность этого синхронного детектора – это наличие дополнительного коммутатора D5, который переключает “запоминающие” конденсаторы C6, C7, C9, C10. Благодаря такому включению этот синхронный детектор может осуществлять квазиодновременное квадратурное декодирование одно- или двухчастотного сигнала.

Измерительный усилитель D8 и 10-ти разрядный ЦАП D10, который стоит в цепи автоподстройки этого усилителя, позволяют увеличить разрядность аналого-цифрового преобразования сигнала с выхода синхронного детектора. Аналого-цифровое преобразование производится с помощью 10-ти разрядного АЦП, встроенного в микроконтроллер D14. При этом используется сигнал *ADC0* непосредственно с выхода синхронного детектора и усиленный сигнал *ADC1* с выхода измерительного усилителя.

Каскад на микросхеме D11 формирует высокостабильное напряжение величиной около 4,6В, которое используется в качестве опорного для АЦП и ЦАП, а также для цепей смещения измерительного усилителя.

Стабилизатор D12 формирует питающее напряжение +5В. Стабилизатор D15 формирует напряжение +10В, которым запитывается передающий каскад.

Для формирования напряжения –5В предназначен импульсный преобразователь на элементах VT5, VT6, VD4...VD6 и последующий линейный стабилизатор D13. Импульсный преобразователь работает на той же частоте, что и передающий каскад. Это позволяет существенно уменьшить влияние этого каскада на высокочувствительный приемный тракт.

На элементах VT8, VT9, D16 выполнен каскад формирования сигнала звуковой индикации. На транзисторах VT8, VT9 выполнен электронный регулятор громкости. Работает он следующим образом – на RC цепочку R43, C35 подается ШИМ сигнал. В зависимости от скважности ШИМ сигнала будет меняться уровень постоянного напряжения на выходе этой RC цепочки, а также напряжение на выходе эмиттерного повторителя VT8. В результате будет меняться амплитуда аудиосигнала на коллекторе VT9. Далее этот аудиосигнал подается на усилитель мощности D16, выход которого нагружен на громкоговоритель либо на наушники.

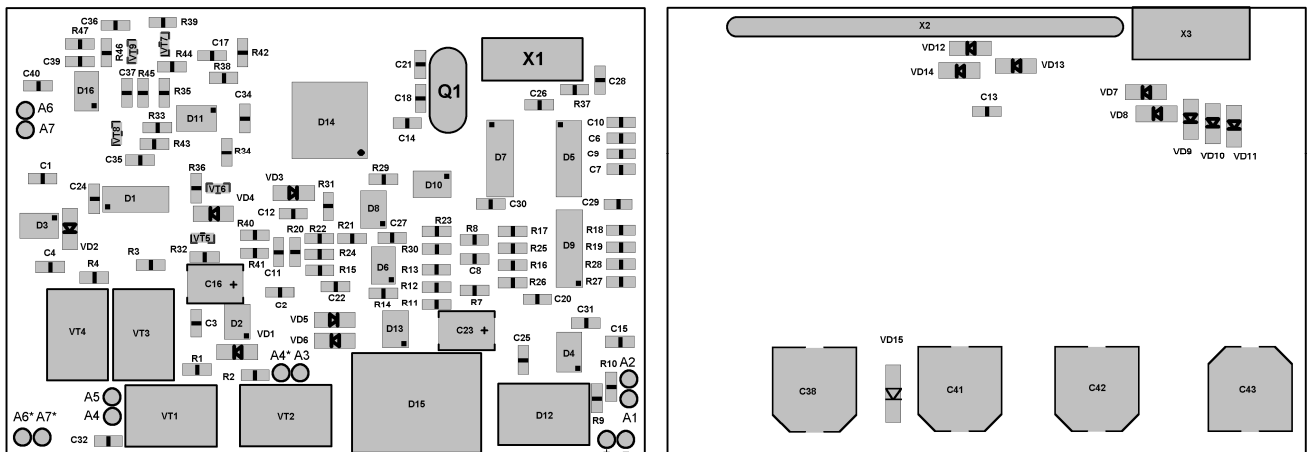
Через разъем X2 к устройству подключается графический ЖКИ с размером экрана 122x32 точки. С помощью транзистора VT7 включается подсветка этого ЖКИ. Через разъем X3 к устройству подключается восьмикнопочная клавиатура. Разъем X1 предназначен для внутрисхемного программирования микроконтроллера D14.

Основой всей схемы металлоискателя является микроконтроллер D14 типа ATMEGA16. Он выполняет следующие функции:

1. Генерирует сигнал передатчика *F* и опорный сигнал синхронного детектора *SD\_SYNC*. Эти сигналы всегда имеют одинаковую частоту, однако фазовый сдвиг между этими сигналами может перестраиваться в пределах 0...360°. Шаг перестройки составляет 0,16° для частоты 7кГц и 0,32° для частоты 14кГц.
2. Формирует управляющие сигналы для аналоговых коммутаторов D5,D9 и для ЦАПа D10.
3. Генерирует сигнал звуковой индикации с регулируемой частотой и амплитудой.

4. Осуществляет вывод информации на графический ЖКИ, а также формирует сигнал управления подсветкой этого ЖКИ.
5. Осуществляет ввод информации с восьмикнопочной клавиатуры.
6. Измеряет с помощью АЦП напряжение питания батареи.
7. Измеряет с помощью АЦП сигнал с выхода синхронного детектора.
8. Осуществляет математическую обработку измеренных данных.
9. Осуществляет общее программное управление всем прибором.

Вся схема металлоискателя, за исключением ЖКИ и клавиатуры, смонтирована на двухсторонней печатной плате размером 84 x 59мм. Столь малый размер удалось получить благодаря применению SMD деталей. Сборочный чертеж этой платы изображен на Рис.4.

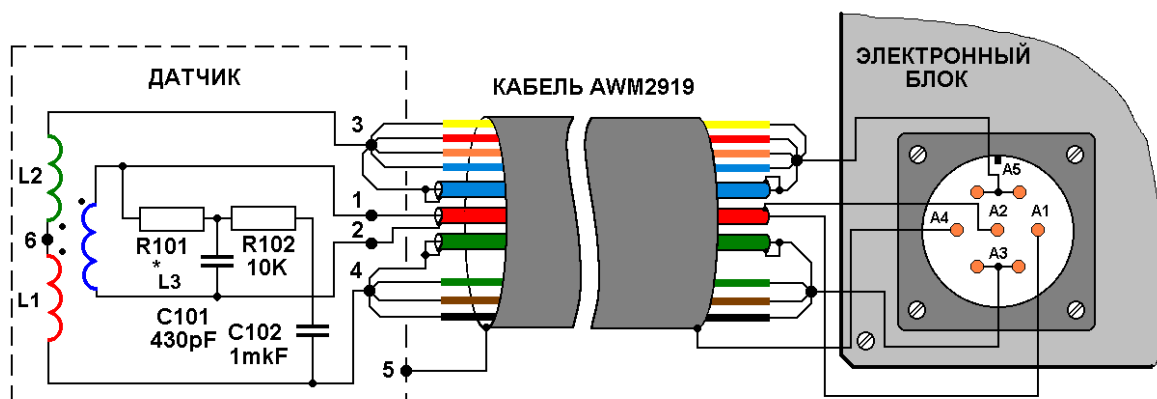


**Рис. 4. Расположение элементов на печатной плате.**

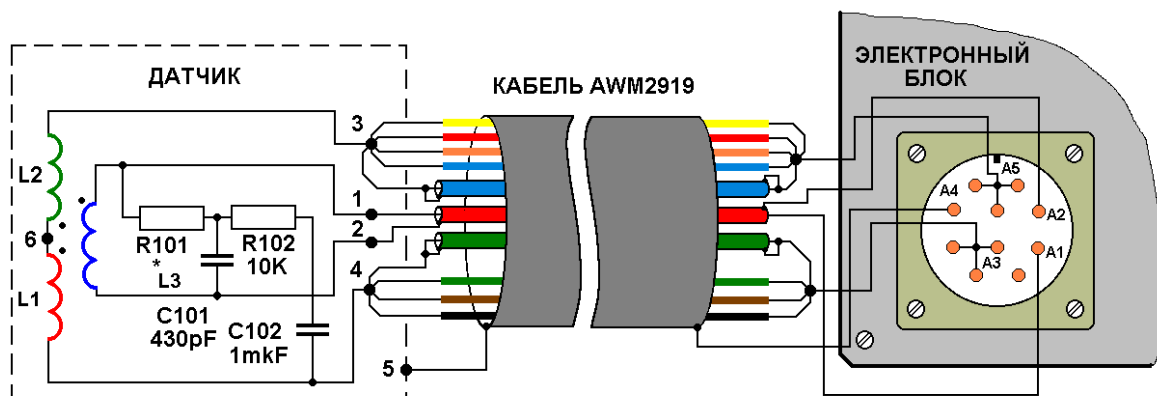
## Конструкция датчика

Датчик металлоискателя является одним из важнейших его узлов. В металлоискателе КОЩЕЙ-ВМ8043 используется нерезонансный датчик с планарным коаксиальным расположением катушек. Его главная отличительная особенность – это эффективная работа в широком диапазоне частот. Более подробно этот вопрос рассмотрен в [1]. Важное свойство нерезонансного датчика – это хорошая термостабильность. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, в нерезонансном датчике отсутствуют контурные конденсаторы, которые являются “слабым звеном” в плане термостабильности резонансных датчиков. Во-вторых, фазочастотная характеристика нерезонансного датчика имеет намного меньшую крутизну, чем характеристика резонансного датчика. Поэтому температурное изменение индуктивности и сопротивления катушек датчика имеют меньшие последствия, чем в случае резонансного датчика.

Электрическая схема кольцевого датчика показана на Рис.5. Датчик содержит три катушки: L1 - передающая катушка, L2 - компенсирующая катушка, L3 – приемная катушка.



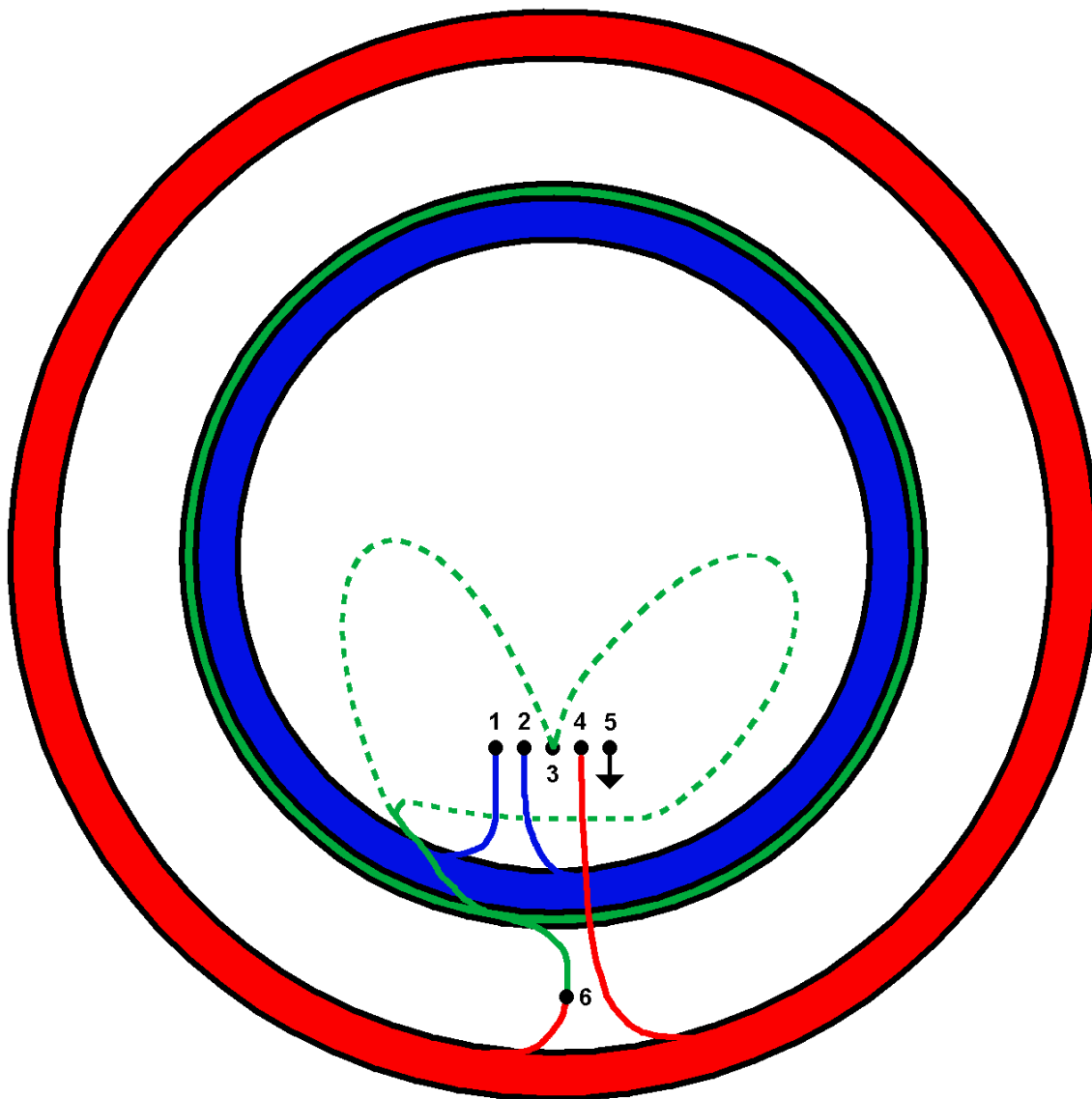
**Вариант А – для 7-ми контактного разъема**



**Вариант Б – для 10-ти контактного разъема**

**Рис.5. Принципиальная электрическая схема подключения датчика.**

На Рис.6. изображено взаимное расположение этих катушек (вид со стороны “дна” датчика). Передающая катушка показана красным цветом, компенсирующая – зеленым и приемная - синим цветом. Зеленым пунктиром изображена настроечная компенсирующая петля, о которой будет сказано ниже.



**Рис.6. Взаимное расположение катушек датчика.**

Принцип работы такого датчика основан на том, что передающая и компенсирующая катушки включены в противофазе, а соотношение витков в этих катушках подобрано таким образом, что суммарный поток вектора магнитной индукции от этих катушек через приемную катушку равен нулю. Элементы R101,R102,C101,C102 предназначены для компенсации сигнала, который проникает в приемную катушку благодаря паразитной емкостной связи (межобмоточная емкость, емкость в кабеле между жилами и т.д.). В результате – в правильно сбалансированном датчике на выводах приемной катушки наведенное напряжение близко к нулю. При появлении в поле датчика металлической мишени баланс поля в районе приемной катушки нарушается. И на выходе приемной катушки появляется напряжение, параметры которого характеризуют мишень. Это напряжение и поступает в приемный тракт металлоискателя.

## **Набор VM8043**

Самостоятельное изготовление “с нуля” описанного выше металлоискателя достаточно проблематично даже для опытных радиолюбителей по причине дефицитности многих деталей, сложности SMD монтажа и невозможности качественного изготовления механических узлов.



Учитывая перечисленные причины Мастер Кит выпустил набор ВМ8043, который состоит из электронного блока заводской сборки, всех необходимых разъемов и корпуса датчика. Тем не менее, не смотря на такое укрупнение, этот прибор не является “черным ящиком” – любой радиолюбитель в целях самообразования может отвинтить крышку электронного блока и, вооружившись принципиальной схемой и осциллографом, исследовать работу отдельных узлов. Также этот набор оставляет большое поле для творчества – самостоятельное изготовление датчика и последующая настройка прибора достаточно кропотливая и познавательная работа.



**Рис.7. Внешний вид электронного блока**

Остановимся подробнее на конструкции электронного блока. Печатная плата, ЖКИ, и остальные детали (громкоговоритель, разъемы и т.д.) смонтированы внутри фрезерованного алюминиевого корпуса. (См.Рис. 7) Корпус окрашен высокопрочной “порошковой” краской. Эргономичная лицевая панель включает в себя пленочную клавиатуру повышенной надежности. В нижней части корпуса расположена алюминиевая втулка диаметром 18мм, которая предназначена для крепления электронного блока к рукоятке. Пыле- и влагозащищенный байонетный разъем с позолоченными контактами обеспечивает надежное и удобное сочленение электронного блока и датчика.

Для того, чтобы превратить этот набор в полноценный металлоискатель, необходимо следующее:

1. Решить проблему питания.
2. Продумать и изготовить штангу.
3. Изготовить датчик.
4. Произвести сервисную настройку прибора.

## **Питание**

Рекомендуемые источники питания – это кислотный аккумулятор 12В, емкостью 1.2А/ч или 10шт пальчиковых NiMH аккумуляторов емкостью 1000-2000мА/ч. Каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. Кислотный аккумулятор гораздо дешевле, однако он весит в два с лишним раза больше, чем набор из металлгидридных аккумуляторов.

После того как источник питания выбран, нужно подобрать под него подходящий корпус и смонтировать аккумулятор внутри него. Если выбран набор из пальчиковых аккумуляторов, то рекомендуется спаять их между собой (не перегревая!), а не использовать всевозможные кассеты. Так будет гораздо надежнее.

К аккумулятору необходимо подключить шнур питания с сечением проводников не менее 0.5 кв.мм. Шнур необходимо подключать через предохранитель 2А. Это позволит избежать неприятностей во время полевой эксплуатации прибора. К обратной стороне шнура необходимо подпаять разъем питания, соблюдая полярность, которая указана на задней крышке электронного блока.

Также для выбранного аккумулятора нужно будет приобрести или изготовить самостоятельно соответствующее зарядное устройство.

### **Штанга**

К штанге выдвигаются такие требования – она должна быть достаточно прочной и легкой. Штанга не должна содержать никаких металлических деталей, которые конструктивно расположены на расстоянии ближе 40 см от датчика. Из подручных материалов для штанги можно порекомендовать детали от пластикового водопровода или пластиковой удочки. Для крепления датчика можно использовать пластиковый болт, который используется для крепления крышки унитаза ☺

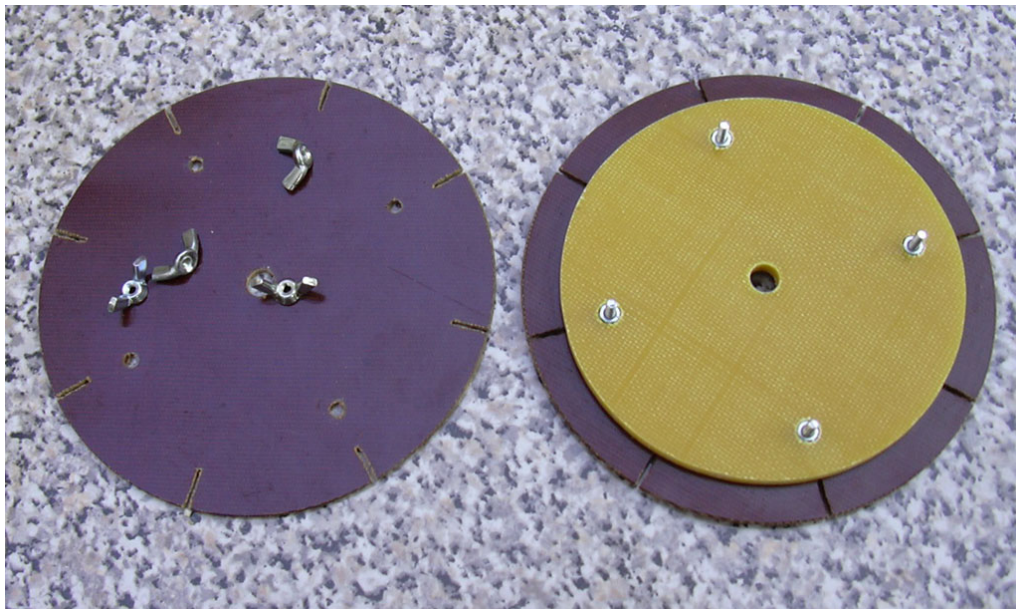
Батарейный отсек рекомендуется конструктивно располагать на обратной относительно датчика стороне штанги. В этом случае он будет служить противовесом датчику, и рука будет меньше уставать при поисках.

Конструкция крепления электронного блока может быть достаточно произвольной. Например, ее можно совместить с рукояткой. В этом случае рукоятка должна иметь в верхней части отверстие диаметром 18 мм и глубиной не менее 25 мм, чтобы туда входила втулка электронного блока.

### **Технология изготовления датчика**

Ниже описана технология изготовления датчика с использованием специального пластикового корпуса заводского изготовления. Однако, руководствуясь этими рекомендациями, можно изготовить датчик и из подручных материалов, в том числе и других размеров.

Сначала необходимо намотать катушки датчика. Для намотки желательно изготовить специальные оправки. Один из возможных вариантов такой оправки со снятой боковой стенкой показан на Рис 8. Для намотки передающей катушки L1 внутренний диск должен иметь диаметр 172 мм и толщину 5 мм. Для намотки приемной L3 и компенсирующей L2 катушек внутренний диск должен иметь диаметр 112 мм и толщину 5 мм. В боковых стенках делаются пропилы для закладки увязывающих нитей. Этими нитями катушка увязывается после намотки, затем отсоединяется боковая стенка оправки и катушка извлекается.



**Рис. 8. Оправка для намотки катушки датчика.**

В крайнем случае, катушки можно мотать и с помощью более простого приспособления. Для этого на куске дерева или фанеры нужно начертить окружность нужного диаметра. Затем по этой окружности нужно забить 20-30 небольших гвоздей, на которые надеты отрезки ПВХ трубки. После этого на полученный каркас можно наматывать катушку. После намотки катушка увязывается нитками, гвозди отгибаются внутрь и катушка снимается.

Для намотки передающей катушки L1 рекомендуется использовать эмалированный провод диаметром 1мм. Допускается использование и более тонкого провода – диаметром до 0.7мм. Однако в этом случае возрастут резистивные потери, и прибор будет потреблять примерно на 30мА больше. Катушка L1 должна содержать 21 виток.

Приемная L3 и компенсирующая L2 катушки мотаются на одной оправке. Вначале мотается приемная катушка. Она должна содержать 210 витков эмалированного провода диаметром 0.2-0.3мм. Желательно использовать провод, который имеет дополнительную шелковую изоляцию. В этом случае существенно уменьшается вероятность межвиткового замыкания, а также вероятность обрыва провода во время намотки. Поверх приемной катушки мотается компенсирующая катушка L2. Она должна содержать 9 витков провода диаметром 1мм. Один из концов провода этой катушки после намотки нужно оставить достаточно длинным – обрезать его на расстоянии около 20см от катушки. Этот отрезок понадобится в дальнейшем для тонкой балансировки датчика. После намотки катушки L2+L3 увязываются нитями вместе и снимаются с оправки.

Следующий этап – экранирование корпуса датчика с помощью токопроводящего лака на основе графита. Такой лак можно купить на радиорынке либо сделать самостоятельно. Для изготовления такого лака потребуется нитролак (например - НЦ-218) и графитовый порошок. Графитовый порошок иногда продается в магазинах хозяйственных товаров. Также такой порошок можно сделать самостоятельно, измельчив электротехнические графитовые щетки. Для приготовления токопроводящего лака нужно смешать примерно в равных объемных пропорциях нитролак и графитовый порошок и тщательно перемешать полученную смесь.

Предварительно нужно защитить внешнюю поверхность корпуса датчика от случайного попадания на него лака и эпоксидной смолы. Это можно сделать с помощью обычного скотча (См. Рис.9).





**Рис. 9. Защита внешней поверхности корпуса датчика.**

Далее нужно приготовить “заземляющий” вывод. Для этого берется отрезок неизолированного зачищенного медного провода длиной около 20см и диаметром 0,2-0,3мм и с помощью паяльника приплавляется в нескольких местах к корпусу датчика (См. Рис. 10)



**Рис. 10. Закрепление “заземляющего” вывода.**

Следующий этап – это покрытие корпуса датчика токопроводящим лаком. Лак с помощью кисти наносится тонким слоем на полости 1 и 2, которые предназначены для укладки катушек (См. Рис.11). После нанесения лака датчик необходимо просушить в течение нескольких часов, а затем проверить качество экрана. Для этого необходимо подключить один из щупов тестера к медному проводнику, а второй плотно прижимать к различным точкам экрана. Тестер в режиме измерения сопротивления должен показывать сопротивление от сотен Ом до единиц килоОм.

Если это сопротивление больше, значит, лак содержал слишком мало графитового порошка. В этом случае необходимо добавить в лак графита и повторить покрытие корпуса лаком.



**Рис. 11. Покрытие корпуса токопроводящим лаком.**

Следующий этап – это заливка катушек эпоксидной смолой в корпусе. Стандартный заводской корпус нужно предварительно подготовить (см. Рис.12.) На месте одной из бобышек нужно просверлить отверстие диаметром 15мм и завинтить в него гермоввод PG-9. Затем необходимо заполнить пазы в корпусе кусочками пенопласта. Это позволит существенно уменьшить общую массу датчика. Пенопласт предварительно нужно нарезать кусочками размером примерно 10х15х20мм. Желательно использовать твердый мелкопористый пенопласт, который применяется в строительстве для термоизоляции. Нарезку пенопласта можно выполнить с помощью обычного лобзика или острого ножа. Более качественно нарезку пенопласта можно сделать с помощью разогретой нихромовой проволоки. Для этого понадобится специальное самодельное приспособление, состоящее из понижающего трансформатора и электрического резака.





**Рис. 12. Укладка пенопласта в пазы.**

Сначала заливают эпоксидной смолой передающую катушку. Она укладывается в соответствующее углубление корпуса. Выводы катушки пропускаются через пазы. Затем эти пазы герметизируются пластилином или термоклеем. После этого катушка заливается эпоксидной смолой (см. Рис. 13).

Перед заливкой смолу нужно тщательно смешать с отвердителем в пропорции, которая указана на упаковке. **Работу необходимо проводить в хорошо проветриваемом помещении, так как отвердитель токсичен! Заливку и полимеризацию смолы нужно производить при температуре воздуха не выше +25°C !** Иначе реакция отверждения пойдет с лавинообразным выделением тепла, смола нагреется до высокой температуры, вспенится и деформирует пластиковый корпус.

После застывания смолы на передающей катушке можно приступать к заливке приемной и компенсирующей катушек. Однако перед этим очень желательно убедиться в том, что эти катушки намотаны и уложены правильно. Потому что после заливки что-либо исправить будет невозможно.



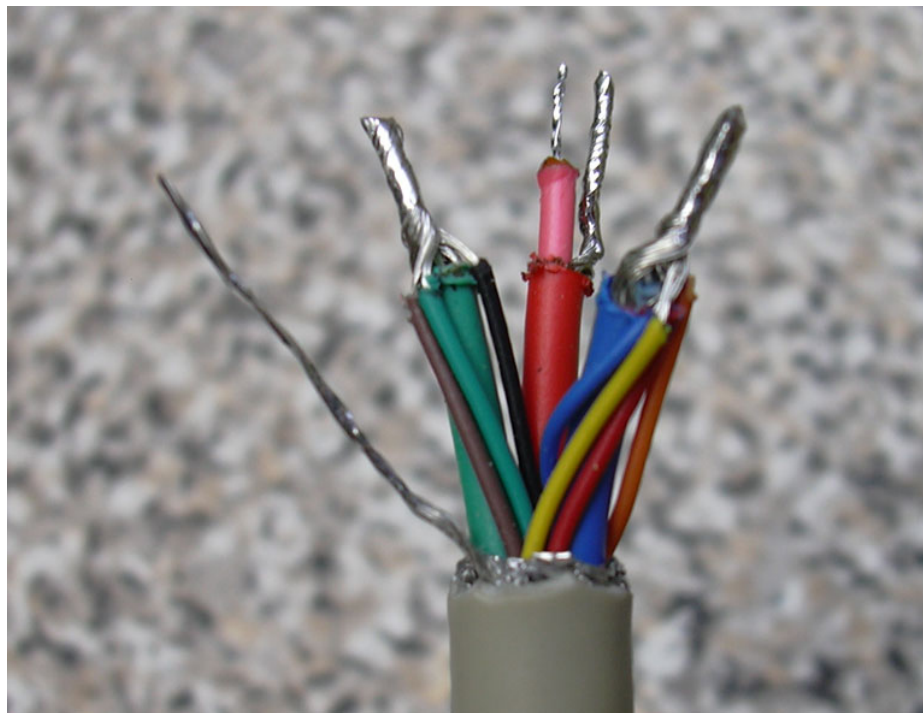
**Рис. 13. Заливка передающей катушки.**

На этом этапе к датчику нужно подключить сигнальный кабель. Для этого нам потребуется кусок кабеля AWM2919 длиной 1,2м. Такой кабель используется в качестве сигнального кабеля в VGA и SVGA мониторах, для плазменных панелей и т.д.

Концы кабеля необходимо разделить в соответствии со схемой (См. Рис 5. и Рис.14). Несколько необычное включение экранов некоторых проводников кабеля объясняется так – таким образом формируются “сборные” проводники с большой суммарной площадью сечения для минимизации сопротивления в цепи передающей катушки. Дело в том, что увеличение сопротивления в этой цепи на 0.1 Ома приводит к увеличению потребляемого тока примерно на 10мА. Некоторые экземпляры такого кабеля могут иметь другую расцветку проводов, либо другое число “тонких” проводников. Это не принципиально – нужно выделить один внутренний коаксиальный кабель для приемной катушки, остальные проводники нужно разделить на две группы и запараллелить их по аналогии, как это сделано на рис.5.

Один конец кабеля подпаивается к разъему в соответствии с Рис.5. Для уменьшения вероятности замыкания рекомендуется одеть ПВХ трубки (т.н. кембрики) на объединенные проводники, которые ведут к передающей катушке. Патрубок разъема одеваем на кабель, но пока не закручиваем, об этом будет написано ниже. Второй конец кабеля вставляется в гермоввод датчика.

Для проверки - катушки L2, L3 укладываются в соответствующий паз (см. Рис. 15). Жилы сигнального кабеля подпаиваются к датчику согласно Рис.5 и Рис.6. При этом вывод 3 катушки L2 нужно оставить длинным (до 20см). Остальные выводы катушек обрезаются до минимально необходимой длины. Место спайки катушек L1 и L2 располагаем таким образом, чтобы оно оказалось в том же углублении, что и катушки L2+L3. Последующая заливка надежно защитит эту спайку.



**Рис. 14. Разделка кабеля AW2919**

После этого включаем прибор. На экране появится предупреждение “Датчик разбалансирован!” Игнорируем его и нажимаем кнопку **Ввод**. Выбираем пункт меню “Параметры”, заходим в него и меняем параметр “Усиление” для первого профиля на значение 1 (минимальное усиление). Также устанавливаем параметры “Частота” на значение 7кГц и номер датчика 1. Выходим из этого пункта меню по клавише **Ввод**. Далее нам понадобится один из сервисных режимов прибора.

Для того, чтобы стали доступны сервисные пункты меню, необходимо сделать следующее: нужно войти в пункт меню “Контроль батареи” и нажать клавишу **↓** не менее восьми раз. После этого нажимаем клавишу **Ввод** и возвращаемся в основное меню. Затем нажимаем несколько раз клавишу **↓**, и после прокрутки убеждаемся, что в меню появились дополнительные пункты.





**Рис. 15. Укладка и подпайка приемной и компенсирующей катушек.**

Необходимо выбрать пункт меню “Калибровка тракта”. Заходим в него. На экране будет наблюдаться картинка, подобная Рис.16. На данном этапе мы смотрим на две верхние шкалы – X и Y. Эти шкалы индицируют абсолютный уровень сигналов X и Y на выходе синхронного детектора. В правильно сбалансированном тракте эти сигналы должны быть минимальными. Т.е. указатели уровня сигнала должны находиться около центральной (нулевой) отметки.



**Рис. 16. Экран ЖКИ – сервисный режим «Калибровка тракта».**

Попробуем достичь этого. Для этого датчик нужно расположить подальше от металлических предметов (не менее чем на 0.5м). Балансировка достигается путем укладки “длинного” конца катушки L2.

Контролировать при этой настройке нужно показания на X и Y шкалах (см. Рис.16). Суть укладки этого “длинного” конца заключается в следующем – в общем случае для полной компенсации, компенсирующая катушка должна содержать некоторое дробное количество витков. Причем, из-за погрешностей намотки катушек, это дробное значение будет отличаться от экземпляра к экземпляру. Наша же компенсирующая катушка намотана с точностью до пол витка. Поэтому мы должны уложить эту оставшуюся часть провода таким образом, чтобы она играла роль недостающей дробной части витка. Общий принцип укладки следующий – в начале настройки мы выгибаем всю петлю перпендикулярно плоскости датчика. В этом случае петля не будет сказываться на общем балансе. А затем начинаем понемногу укладывать провод в плоскости датчика. Если мы имеем недокомпенсацию, то укладываем петлю как бы по ходу намотки (в ее продолжение) компенсирующей катушки. Если же мы имеем перекомпенсацию, то петлю нужно укладывать в обратном направлении. Чем больше радиус такой петли, тем больший эффект она дает. Для предварительной фиксации петли можно использовать термоклей или слегка расплавить паяльником перегородки и бобышки на корпусе датчика. На

данном этапе полный баланс по шкале X не получается – останется разбаланс 10-20% от максимального значения шкалы. На это сейчас не обращаем внимания - этот баланс достигается с помощью элементов R101,R102,C101,C102 и об этом будет сказано ниже.

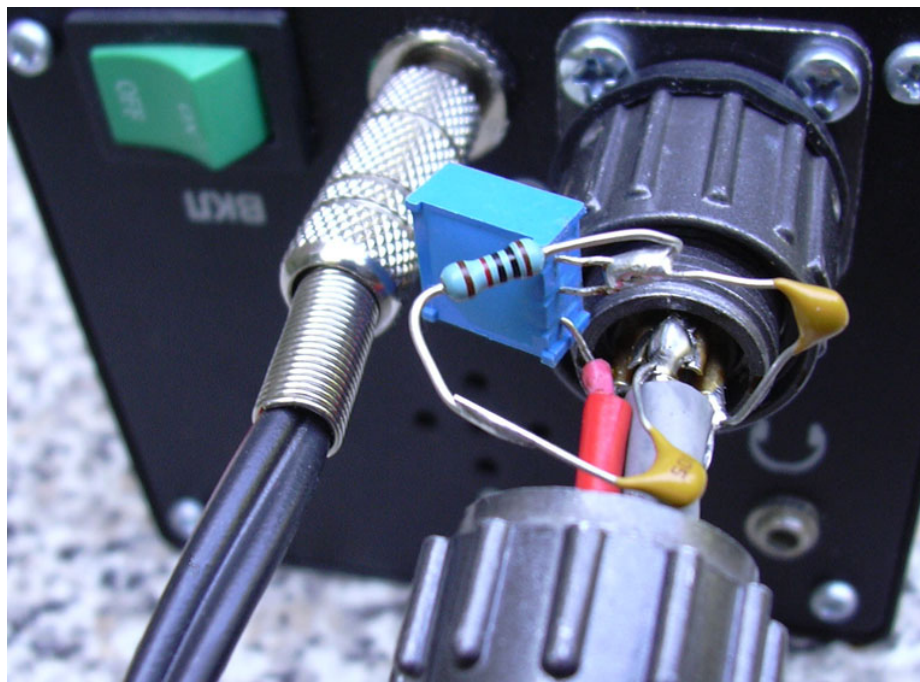
Скорее всего, после того, как мы достигнем предварительного баланса, у нас еще останется лишний кусок провода, который не участвует в балансе (тот кусок, который так и остался изогнутым перпендикулярно плоскости датчика). Поэтому нужно выключить прибор и укоротить этот “перпендикулярный аппендикс” ☺ примерно до длины 1-2см. На Рис.18. этот участок показан цифрой 1.

Если же баланс не удастся, то нужно еще раз внимательно проверить правильность подключения катушек. Если с подключением все правильно, а баланс все равно не получается, (либо получается при слишком больших размерах балансирующей петли) то, возможно, была допущена ошибка в геометрических размерах катушек, либо в количестве витков. Впрочем, и из этой ситуации есть выход – нужно подобрать количество витков компенсирующей катушки экспериментально – добавляя или убавляя по пол витка и повторяя всю процедуру .

Не лишним будет напомнить, что все перепайки в датчике, которые будут сопутствовать этим отмоткам-домоткам, нужно выполнять **СТРОГО ПРИ ВЫКЛЮЧЕННОМ ПРИБОРЕ!!!**

После того как мы достигли предварительного баланса (разбаланс по шкалам X и Y не более 20%), можно переходить к следующему этапу – заливке катушек L2 и L3 эпоксидной смолой. Перед этим нужно не забыть произвести герметизацию пазов, через которые проходят выводы катушек.

Дожидаемся застывания смолы и переходим к последнему этапу настройки датчика – тонкой балансировке при большом усилении. Для этого нам понадобится предварительно припаять элементы R101,R102,C101,C102 прямо к разъему датчика (См. Рис. 17.). Это необходимо сделать потому, что эти элементы крайне затруднительно подстраивать, когда они находятся внутри датчика. Подпайку выполняем согласно схемы (См. Рис.5). Конденсаторы должны быть с хорошим ТКЕ. Для C101 рекомендуется группа NP0, для C102 - X7R. Резисторы желательно использовать однопроцентные (например типов MFR,MRS или C2-29). Здесь важна не столько точность этих резисторов, сколько термостабильность. А она у однопроцентных резисторов хорошая. На время настройки вместо резистора R101 устанавливаем многооборотный подстроечный резистор на 100 кОм.



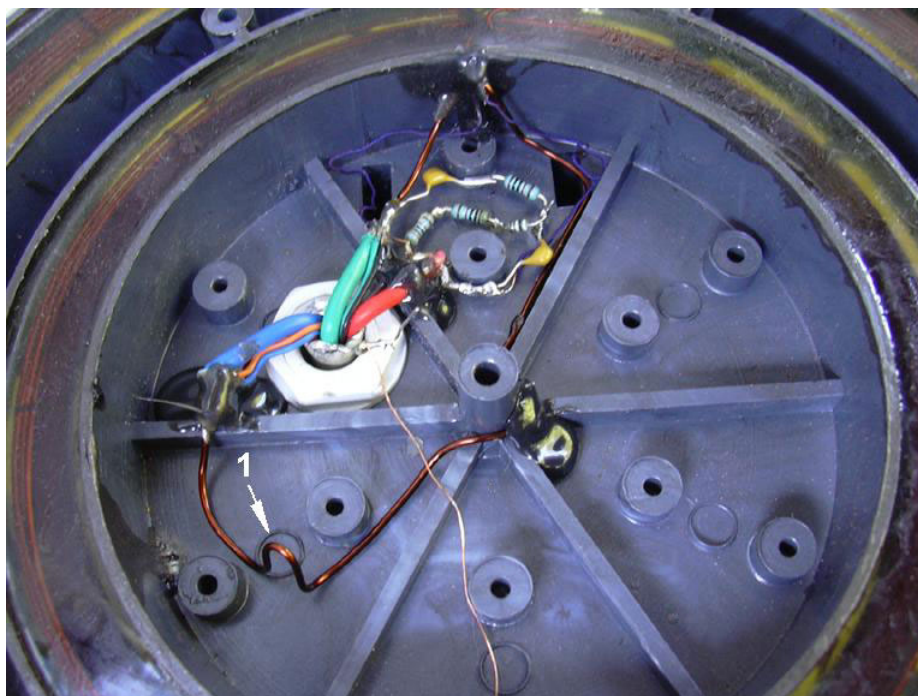
**Рис. 17. Временный монтаж элементов на разъеме**



Далее включаем прибор, входим в пункт меню “Параметры” и устанавливаем значение усиления равным 8 (максимальное усиление). Далее входим в сервисный пункт меню “Калибровка тракта” и контролируем шкалы X и Y. Подстройку ведем с помощью небольших изменений конфигурации петли и с помощью резистора R101. Петлю нужно изгибать очень аккуратно, потому что при большом усилии даже небольшие деформации в единицы миллиметров будут приводить к существенному изменению сигнала. Идея балансировки все та же – необходимо сдвинуть показания по шкалам X и Y как можно ближе к нулю. Допустимая расстройка – не более 10% относительно центра.

После выполнения балансировки на частоте 7кГц, необходимо проверить соблюдается ли балансировка на частоте 14кГц. Для этого нужно войти в пункт меню “Параметры” и изменить рабочую частоту на 14кГц. Затем нужно снова войти в сервисный пункт меню “Калибровка тракта” и посмотреть состояние шкал X и Y. Если эти значения не отличаются от нулевого значения более чем на 20%, то балансировку можно считать успешной.

После этого нам необходимо перенести элементы R101,R102,C101,C102 внутрь датчика. Измеряем значение сопротивления подстроечного резистора и заменяем его одним или несколькими постоянными резисторами. Для справки – обычно значение резистора R101 получается в пределах 20-40кОм. Элементы монтируем с помощью объемного монтажа на выводы кабеля и катушек (См. Рис.18). Патрубок разъема после этого можно закручивать. При этом следует обратить внимание на то, что одно из резьбовых соединений патрубка имеет левую резьбу.



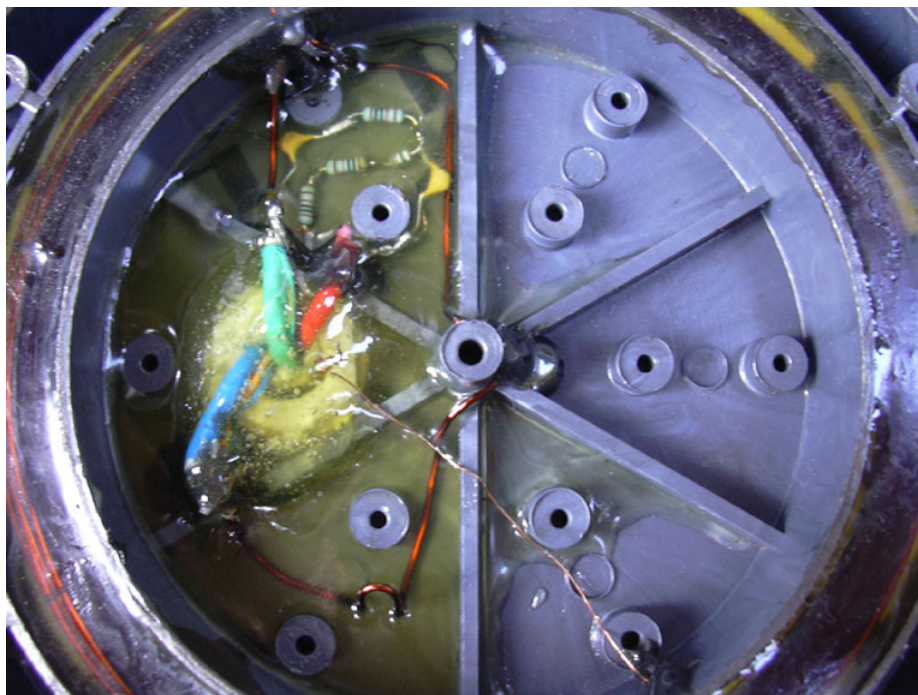
**Рис. 18. Монтаж элементов внутри датчика**

После перенесения элементов R101,R102,C101,C102 внутрь датчика включаем прибор и убеждаемся, что баланс соблюдается. Если это не так, проверяем правильность монтажа и корректируем положение петли.

Следующим этапом нужно зафиксировать положение настроечной петли, а также элементов R101,R102,C101,C102 с помощью эпоксидной смолы. Для этого нужно залить петлю, элементы, а также выводы всех катушек тонким слоем (2-3мм) эпоксидной смолы (см. Рис.19). “Перпендикулярный аппендикс” смолой не заливаем! Когда смола достигнет консистенции пластилина, желательно еще раз включить прибор и проверить балансировку датчика, и, в случае необходимости, скорректировать положение петли.

После застывания смолы (желательно дать 1-2 дня на усадку) проверяем баланс. Обычно из-за усадки смолы во время полимеризации баланс немного нарушается. В этом случае окончательно корректируем баланс с помощью “аппендикса”, изгибая его в ту или иную

сторону. Сам “аппендикс” не нуждается в дополнительной фиксации, т.к. короткий отрезок толстой медной проволоки обладает достаточной механической жесткостью.



**Рис.19. Заливка настроечной петли и компенсирующих элементов**

Дальше необходимо сделать экранированную крышку датчика. Для этого нужно взять кусок неметаллического листового материала толщиной 1,5-2мм. Это может быть текстолит, нефольгированный стеклотекстолит, ПХВ и т.д. Из этого куска необходимо вырезать круг диаметром 192мм. Это можно сделать с помощью циркульного резака или с помощью обычного лобзика.

Затем на внутреннюю поверхность крышки нужно нанести токопроводящий лак (См. выше). Пока лак не высох, к поверхности прикладывается зачищенный конец тонкого многожильного провода в ПХВ изоляции. Затем, с помощью небольшого кусочка бумаги эта очищенная часть приклеивается к крышке за счет лака (см. Рис.20). В дальнейшем этот проводник будет служить точкой подключения экрана.

После высыхания лака проводник нужно укоротить до длины 6-7см, зачистить конец и проверить сопротивление экрана таким же образом, как мы ранее проверяли качество экранирования корпуса датчика. Если сопротивление в норме, то конец провода нужно подпаять к общему экрану кабеля возле гермоввода. Выполнять эту операцию будет не очень удобно, но вполне реально – длины провода достаточно, чтобы сдвинуть крышку и добраться паяльником до места спайки. Главное – не прилагать больших физических усилий, чтобы нечаянно не оторвать проводник от крышки.





**Рис.20. Крышка датчика с электрическим экраном**

После припайки вывода экрана крышку можно приклеивать на место. Для этого можно воспользоваться, например, клеем “Момент” либо другим водостойким клеем. При склеивании соблюдайте инструкцию, которая указана на упаковке для конкретного клея. Также рекомендуется смазать клеем заземляющий проводник. После установки крышки на место этот проводник изогнется и дополнительно приклеится в нескольких местах к корпусу и крышке.

Теперь наш датчик готов – можно удалять скотч 😊.

## **Сервисные настройки**

Для того, чтобы полностью настроить прибор, нужно не только сбалансировать датчик, но и выполнить еще ряд сервисных настроек. О том, как сделать доступными сервисные пункты меню, было написано выше.

Первая сервисная настройка – это фазовая калибровка тракта. Цель этой операции – учесть все фазовые сдвиги, которые тракт вносит в принимаемый сигнал. Основной фазовый сдвиг вносит датчик. Из-за того, что при изготовлении датчика возможны технологические погрешности, эта величина нуждается в калибровке. Для выполнения калибровки необходимо расположить датчик кверху крышкой и удалить от него любые металлические предметы на расстояние не менее чем 0.5м. Затем включаем прибор и заходим в пункт меню “Параметры”. Устанавливаем для первого профиля усиление 8, рабочую частоту 7кГц и номер датчика - 1. Запоминаем эти значения, нажав клавишу **Ввод**. Затем заходим в сервисный пункт меню “Калибровка тракта”. На экране отобразится изображение, подобное Рис.16. Со шкалами X и Y мы уже ознакомились ранее. Теперь рассмотрим назначение остальных индицируемых величин. В правом верхнем углу индицируется величина фазового сдвига между сигналом передатчика и сигналом приемника. Собственно эту величину мы и должны откалибровать. Здесь есть одна тонкость – дело в том, что при отсутствии мишеней в поле датчика сигнал приемника равен нулю. Поэтому для калибровки нужно использовать эталонную мишень. В качестве такой мишени нужно использовать кусочек феррита, например небольшое ферритовое кольцо с

проницаемостью 2000НМ. Такая мишень должна давать чисто ферромагнитную реакцию, т.е. на выходе приемника мы должны получать сигнал с фазовым сдвигом минус 90°. Шкалы dX и dY как раз и показывают изменение сигнала на выходе приемника. Для того, чтобы сигнал имел фазовый сдвиг минус 90°, сигнал по шкале dX не должен изменяться (должен находиться в нуле), а сигнал по шкале dY должен отклоняться влево.

Методика настройки такова – нужно медленно поднимать и опускать эталонную мишень над центром датчика и наблюдать за индикацией. Если сигнал по шкале dX при этом отклоняется влево, то нужно нажать клавишу ◀. Если сигнал отклоняется вправо, то нужно нажать клавишу ▶. Таким образом необходимо действовать до тех пор, пока при перемещении эталонной мишени сигнал по шкале dX совсем перестанет изменяться, а по шкале dY сигнал будет отклоняться только влево. При этом в правом верхнем углу экрана будет индицироваться искомый фазовый сдвиг тракта. Теперь необходимо, чтобы прибор его запомнил. Для этого достаточно нажать клавишу **Ввод** и выйти в главное меню. Таким образом, мы запомнили фазовый сдвиг для первой рабочей частоты 7кГц. Рабочая частота, кстати, в сервисном режиме “Калибровка” индицируется чуть ниже фазового сдвига. Теперь нам нужно повторить ту же самую операцию для второй рабочей частоты 14кГц. Для этого мы заходим в пункт меню “Параметры” и меняем рабочую частоту на 14кГц. Затем снова заходим в сервисный режим “Калибровка тракта” и повторяем подстройку аналогичным образом. Потом запоминаем фазовый сдвиг тракта для частоты 14кГц, нажав клавишу **Ввод**. Для справки – фазовые сдвиги для описанного датчика должны составлять примерно 150...160° для 7кГц и 170...180° для 14кГц.

Программное обеспечение металлоискателя начиная с версии 2.1 позволяет работать с двумя различными датчиками, которые можно оперативно менять во время поисков в поле. Для того, чтобы настроить второй датчик необходимо подключить его, включить прибор и установить в пункте меню “Параметры” номер датчика – 2. А затем повторить все пункты настройки датчика, которые описаны выше. В сервисном режиме “Калибровка тракта” номер текущего датчика индицируется в правом нижнем углу.

После замены датчика в поле нужно также не забывать устанавливать в пункте меню “Параметры” нужный номер датчика.

Следующая сервисная настройка, которую необходимо выполнить – это калибровка цепи автоподстройки измерительного усилителя на входе АЦП. Для этого нужно войти в сервисный пункт меню “Калибровка ADC”. В этом режиме на экране будет индицироваться изображение подобное Рис.20.

1,004
12
-17

**Рис. 21. Экран ЖКИ – сервисный режим «Калибровка ADC».**

Для настройки датчик необходимо опять расположить вдали от металлических объектов. При нажатии клавиш ◀ и ▶ число (калибровочный коэффициент) в верхней строчке экрана будет изменяться с шагом 0,001. При этом два числа, которые индицируются ниже, будут также изменяться. Цель настройки – подобрать такое значение калибровочного коэффициента, при котором сумма этих двух нижних чисел (с учетом знака) будет минимальной. Для справки: реальное значение коэффициента должно получиться в пределах 0,980...1,020. После окончания настройки полученный коэффициент необходимо запомнить, нажав клавишу **Ввод**.

Последняя сервисная настройка, которую необходимо выполнить, это калибровка измерителя напряжения батареи. Для этого прибор необходимо запитать от лабораторного блока питания через кабель необходимой длины, который затем будет использоваться для питания от аккумуляторов. На лабораторном блоке питания необходимо выставить напряжение 12,00 Вольт. Для контроля этого напряжения нужно использовать вольтметр достаточно

высокого класса точности. После этого необходимо включить прибор и войти в сервисный пункт меню “Калибровка Ubat”. На экране будет индицироваться число  $406 \pm 8$ . Чтобы запомнить этот калибровочный коэффициент, необходимо нажать клавишу **Ввод**.

### **Заключение**

После выполнения всех вышеперечисленных действий ваш металлоискатель готов к работе. Внимательно изучите инструкцию по эксплуатации [2] и приступайте к поискам своего клада ☺.

Небольшое замечание напоследок – в электронном блоке используется монофонический разъем для наушников. Если вы хотите использовать стереофонические наушники, подпаяйте к ним монофонический разъем, который входит в набор ВМ8043.

### **Источники информации**

1. Щедрин А., Колоколов Ю. Схемотехника многочастотного металлоискателя, РАДИОХОББИ, 2005, №2.
2. Инструкция по эксплуатации металлоискателя КОЩЕЙ-ВМ8043  
[www.metdet.ru/IB/InstrK8043.zip](http://www.metdet.ru/IB/InstrK8043.zip)