

Микропроцессорный импульсный металлоискатель NM8042 17.09.2014

Андрей Щедрин
г. Москва

Юрий Колоколов
г. Донецк

Предлагаемый вашему вниманию импульсный металлоискатель является совместной разработкой Юрия Колоколова и Андрея Щедрина. Прибор предназначен для любительского поиска кладов и реликвий, поиска на пляже и т.д. После публикации первой версии металлоискателя в [1], этот прибор получил высокую оценку среди любителей, повторивших конструкцию. Вместе с тем были высказаны полезные замечания и пожелания, которые мы учли в новой версии прибора.

В настоящее время металлоискатель серийно выпускается московской фирмой МАСТЕР КИТ в виде наборов "сделай сам" для радиолюбителей под обозначением NM8042 (в настоящее время выпускается обновленная версия металлоискателя [BM8042](#) в виде готового микропроцессорного модуля). Набор содержит печатную плату, пластиковый корпус и электронные компоненты, включая уже запрограммированный контроллер. Возможно, для многих любителей приобретение такого набора и последующая его несложная сборка окажутся удобной альтернативой приобретению дорогого промышленного прибора или полностью самостоятельному изготовлению металлоискателя.

Принцип действия импульсного или вихретокового металлоискателя основан на возбуждении в металлическом объекте импульсных вихревых токов и измерении вторичного электромагнитного поля, которое наводят эти токи. В этом случае возбуждающий сигнал подается в передающую катушку датчика не постоянно, а периодически в виде импульсов. В проводящих объектах наводятся затухающие вихревые токи, которые возбуждают затухающее электромагнитное поле. Это поле, в свою очередь, наводит в приемной катушке датчика затухающий ток. В зависимости от проводящих свойств и размера объекта, сигнал меняет свою форму и длительность. На рис.1. Схематично показан сигнал на приемной катушке импульсного металлоискателя. Осциллограмма 1 – сигнал в отсутствии металлических мишеней, осциллограмма 2 – сигнал при нахождении датчика вблизи металлического объекта.

Импульсные металлоискатели имеют свои достоинства и недостатки. К достоинствам относится малая чувствительность к минерализованному грунту и соленой воде, к недостаткам - плохая селективность по типу металла и сравнительно большое потребление энергии.

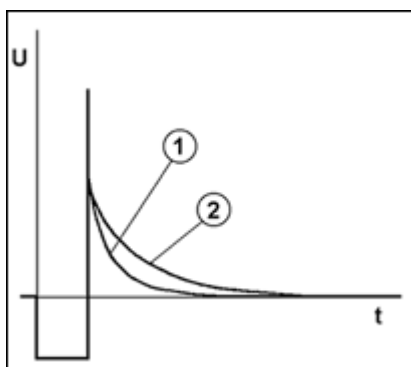


Рис.1. Сигнал на входе импульсного металлоискателя.

Большинство практических конструкций импульсных металлоискателей строятся либо по двухкатушечной схеме, либо по однокатушечной схеме с дополнительным источником питания. В первом случае прибор имеет отдельные приемную и излучающую катушки, что усложняет конструкцию датчика. Во втором случае катушка в датчике одна, а для усиления полезного сигнала используется усилитель, который питается от дополнительного источника питания. Смысл такого построения заключается в следующем – сигнал самоиндукции имеет более высокий потенциал, чем потенциал источника питания, который используется для подачи тока в передающую катушку. Поэтому для усиления такого сигнала усилитель должен иметь собственный источник питания, потенциал которого должно быть выше напряжения усиливаемого сигнала. Это также усложняет схему прибора.

Предлагаемая однокатушечная конструкция построена по оригинальной схеме, которая лишена приведенных выше недостатков.

Технические характеристики

- Напряжение питания: 7,5 – 14 (В)
- Потребляемый ток не более: 90 (мА)
- Глубина обнаружения:
 - монета диаметром 25 мм - 20 (см)
 - пистолет - 40 (см)
 - каска - 60 (см)

Структурная схема металлоискателя изображена на рис.2. Основой устройства является микроконтроллер. С его помощью осуществляется формирование временных интервалов для управления всеми узлами устройства, а также индикация и общее управление прибором. С помощью мощного ключа производится импульсное накопление энергии в катушке датчика, а затем прерывание тока, после которого возникает импульс самоиндукции, возбуждающий электромагнитное поле в мишени.



Рис.2. Структурная схема импульсного металлоискателя.

Изюминкой предлагаемой схемы является применение дифференциального усилителя во входном каскаде. Он служит для усиления сигнала, напряжение которого выше напряжения питания и привязке его к определенному потенциалу - + 5 (В). Для дальнейшего усиления служит приемный усилитель с большим коэффициентом усиления. Для измерения полезного сигнала служит первый интегратор. Во время прямого интегрирования производится накопление полезного сигнала в виде напряжения, а во время обратного интегрирования производится преобразование результата в длительность импульса. Второй интегратор имеет большую постоянную интегрирования и служит для балансировки усилительного тракта по постоянному току.

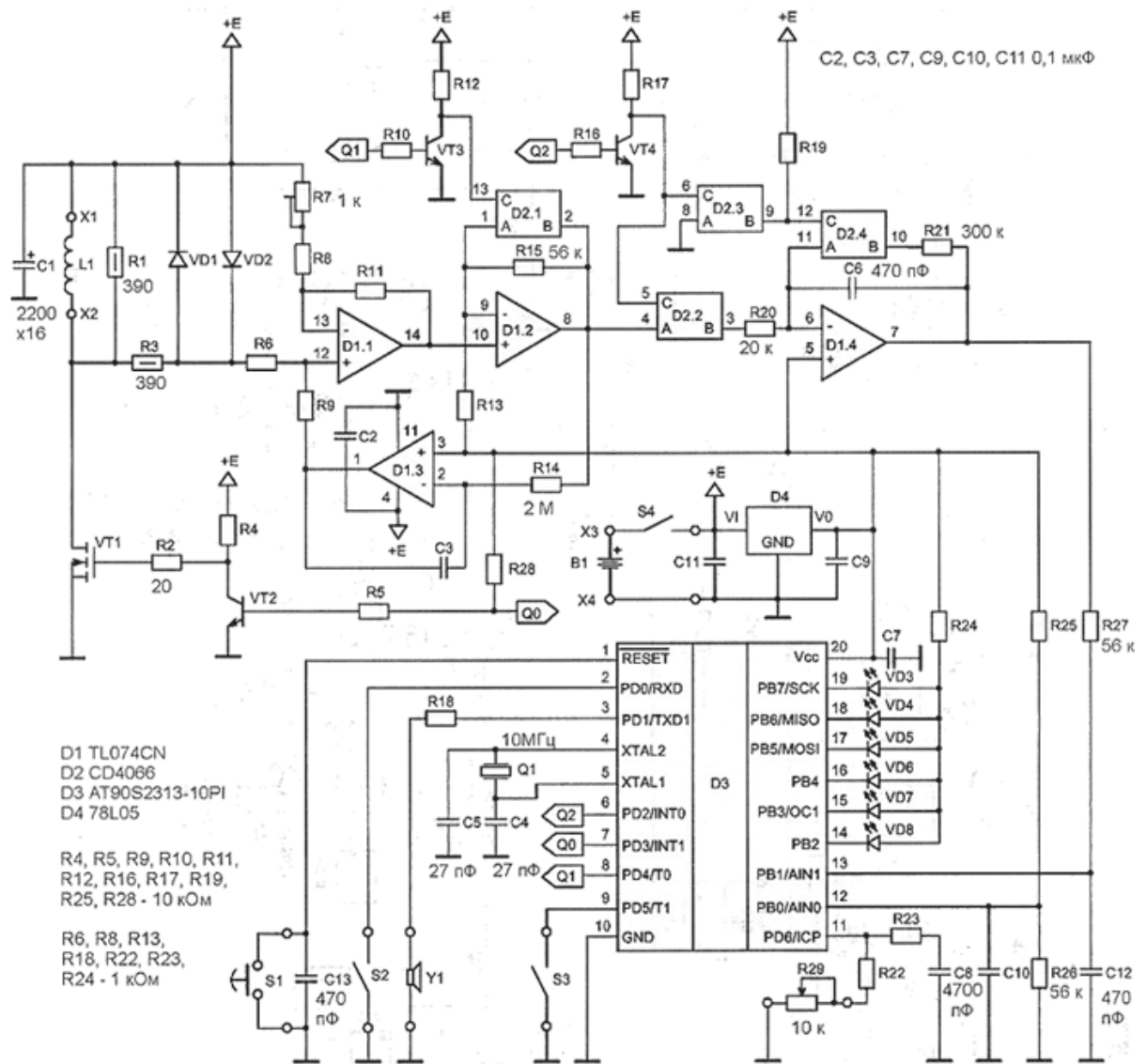


Рис.3. Принципиальная электрическая схема простого импульсного металлоискателя

Предложенная конструкция прибора разработана полностью на импортной элементной базе. Используются самые распространенные компоненты ведущих производителей. Некоторые элементы можно попытаться заменить на отечественные, об этом будет сказано ниже. Большинство примененных элементов не являются дефицитными и могут быть приобретены в больших городах России и СНГ через фирмы, торгующие электронными компонентами.

Мощный ключ собран на полевом транзисторе VT1. Так как примененный полевой транзистор типа IRF740 имеет емкость затвора более 1000 (пФ), для его быстрого закрытия используется предварительный каскад на транзисторе VT2. Скорость открытия мощного ключа уже не столь критична из-за того, что ток в индуктивной нагрузке нарастает постепенно. Резисторы R1, R3 предназначены для “гашения” энергии самоиндукции. Их номинал выбран из соображений безопасной работы транзистора VT1, а также обеспечения апериодического характера переходного процесса в контуре, который образован индуктивностью датчика и паразитной межвитковой емкостью.

Защитные диоды VD1,VD2 ограничивают перепады напряжения на входе дифференциального усилителя.

Дифференциальный усилитель собран на ОУ D1.1. Микросхема D1 представляет собой счетверенный операционный усилитель типа TL074. Его отличительными свойствами являются высокое быстродействие, малое потребление, низкий уровень шумов, высокое входное сопротивление, а также возможность работы при напряжениях на входах, близких к напряжению питания. Эти свойства и обусловили его применение в дифференциальном усилителе в частности и в схеме в целом. Коэффициент усиления дифференциального усилителя составляет около 7 и определяется номиналами резисторов R3, R6...R9, R11.

Приемный усилитель D1.2 представляет собой неинвертирующий усилитель с коэффициентом усиления 57. Во время действия высоковольтной части импульса самоиндукции этот коэффициент снижается до 1 с помощью аналогового ключа D2.1. Это предотвращает перегрузку входного усилительного тракта и обеспечивает быстрое вхождение в режим для усиления слабого сигнала. Транзисторы VT3 и VT4 предназначены для согласования уровней управляющих сигналов, подаваемых с микроконтроллера на аналоговые ключи.

С помощью **второго интегратора** D1.3 производится автоматическая балансировка входного усилительного тракта по постоянному току. Постоянная интегрирования 240 (мс) выбрана достаточно большой, чтобы эта обратная связь не влияла на усиление быстро изменяющегося полезного сигнала. С помощью этого интегратора на выходе усилителя D1.2 при отсутствии сигнала поддерживается уровень +5 (В).

Измерительный **первый интегратор** выполнен на D1.4. На время интегрирования полезного сигнала открывается ключ D2.2 и, соответственно, закрывается ключ D2.4. На ключе D2.3 реализован логический инвертор. После завершения интегрирования сигнала ключ D2.2 закрывается и открывается ключ D2.4. Накопительный конденсатор C6 начинает разряжаться через резистор R21. Время разряда будет пропорционально напряжению, которое установилось на конденсаторе C6 к концу интегрирования полезного сигнала. Это время измеряется с помощью **микроконтроллера**, который осуществляет аналого-цифровое преобразование. Для измерения времени разряда конденсатора C6 используются аналоговый компаратор и таймеры, которые встроены в микроконтроллер D3.

Кнопка S1 предназначена для начального сброса микроконтроллера. С помощью переключателя S3 задается режим индикации устройства. С помощью переменного резистора R29 регулируется чувствительность металлоискателя.

С помощью светодиодов VD3...VD8 производится **световая индикация**.

Алгоритм функционирования

Для разъяснения принципа работы описываемого импульсного металлоискателя на рис.4 приведены осциллограммы сигналов в наиболее важных точках прибора.

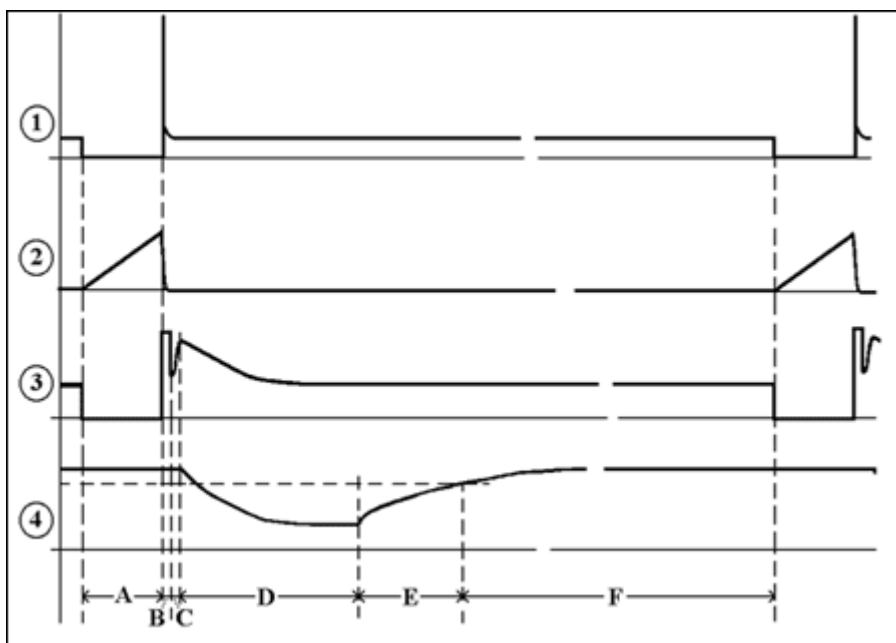


Рис.4. Осциллограммы.

На время интервала А открывается ключ VT1. Через катушку датчика начинает протекать пилообразный ток – осциллограмма 2. При достижении величины тока около 2(A) ключ закрывается. На стоке транзистора VT1 возникает выброс напряжения самоиндукции – осциллограмма 1. Величина этого выброса - более 300 Вольт (!) и ограничивается резисторами R1, R3. Для предотвращения перегрузки усилительного тракта служат ограничительные диоды VD1, VD2. Также для этой цели на время интервала А (накопление энергии в катушке) и интервала В (выброс самоиндукции) открывается ключ D2.1. Это снижает сквозной коэффициент усиления тракта с 400 до 7. На осциллограмме 3 показан сигнал на выходе усилительного тракта (вывод 8 D1.2). Начиная с интервала С, ключ D2.1 закрывается и коэффициент усиления тракта становится большим. После завершения защитного интервала С, за время которого усилительный тракт входит в режим, открывается ключ D2.2 и закрывается ключ D2.4 – начинается интегрирование полезного сигнала – интервал D. По истечении этого интервала ключ D2.2 закрывается, а ключ D2.4 открывается – начинается “обратное” интегрирование. За это время (интервалы Е и F) конденсатор С6 полностью разряжается. С помощью встроенного аналогового компаратора микроконтроллер отмеряет величину интервала Е, которая оказывается пропорциональной уровню входного полезного сигнала. Для текущих версий микропрограммного обеспечения установлены следующие значения интервалов:

А – 60...200 мкс, В – 12 мкс, С – 8 мкс, D – 50 (мкс), А + В + С + D + Е + F – 5 (мс) - период повторения.

Микроконтроллер обрабатывает полученные цифровые данные и индицирует с помощью светодиодов VD3...VD8 и излучателя звука Y1 степень воздействия мишени на датчик. Светодиодная индикация представляет собой аналог стрелочного индикатора – при отсутствии мишени горит светодиод VD8, далее в зависимости от уровня воздействия последовательно загораются VD7, VD6 и т.д.

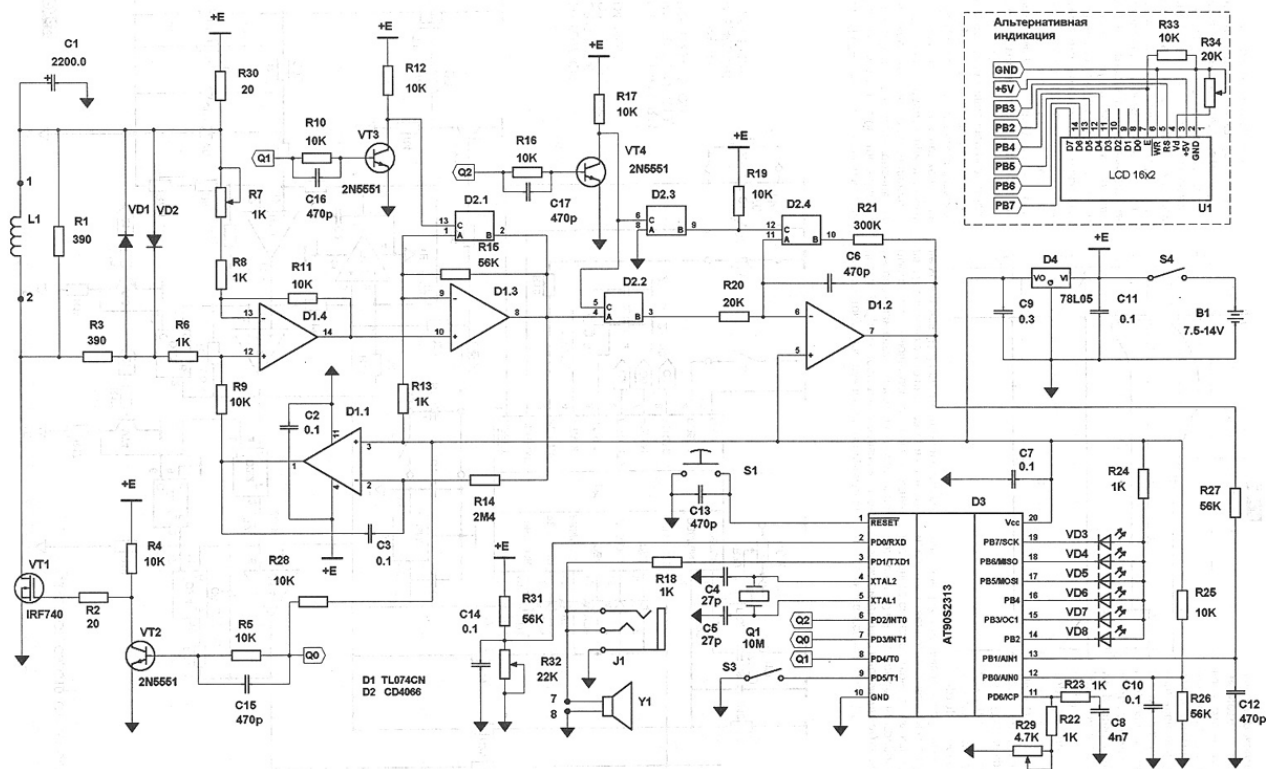


Рис.5. Принципиальная схема второй усовершенствованной версии микропроцессорного импульсного металлоискателя

Отличия (рис.5) от первой версии прибора (рис.3) состоят в следующем:

1. Добавлен резистор R30. Это сделано для того, чтобы снизить влияние внутреннего сопротивления различных батарей на настройку прибора. Теперь можно безболезненно менять кислотный аккумулятор на 6-8шт солевых батарей. Настройка прибора при этом не "съедет".
2. Добавлены "ускоряющие" конденсаторы C15,C16,C17. Благодаря этому существенно улучшилась термостабильность схемы. В старой схеме ключи VT2...VT4 были самым уязвимым местом в этом плане. Плюс к этому в программу добавлена непрерывная автобалансировка нуля.
3. Добавлена цепь R31 , R32, C14 . Эта цепь позволяет непрерывно контролировать состояние аккумуляторной батареи. С помощью резистора R32 теперь можно выставить любой порог безопасной(для аккумулятора) разрядки аккумуляторов различных типов. Например, для 8шт NiCd или NiMH аккумуляторных батарей типа AA нужно будет установить уровень 8 Вольт, а для 12 В кислотного аккумулятора - 11 Вольт... Когда будет достигнут пороговый уровень, будет включена световая и звуковая индикация.

Настраивается этот режим просто. Прибор запитывается от блока питания. На блоке питания выставляется требуемое пороговое напряжение, движок резистора R32 сначала ставится в "верхнее" по схеме положение., а затем, вращая ротор резистора R32, нужно добиться срабатывания индикации – светодиод VD8 начнет мигать, источник звука будет издавать прерывистый сигнал. Из этого режима прибор выходит только по сбросу.

4. В качестве альтернативного устройства индикации теперь можно использовать двухстрочный шестнадцатисимвольный ЖКИ. Этот режим включается при замыкании переключателя S3. В этом случае сигнальные выводы ЖКИ подключаются согласно схеме вместо светодиодов. Также на модуль ЖКИ необходимо подать напряжение +5 В и подключить “земляной” провод. Резистор R33 монтируется непосредственно на контактах модуля ЖКИ (рис.6).

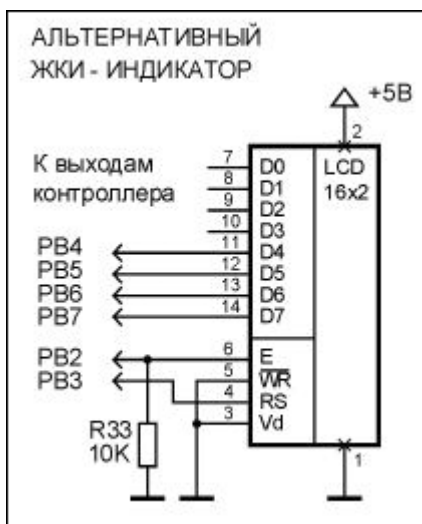


Рис.6. Альтернативный ЖКИ - индикатор.

В этом случае в верхней строке всегда индицируется название металлоискателя, а в нижней строке в зависимости от режима: "Autotuning", "Low battery". В режиме поиска в этой строке рисуется столбец на 16 градаций уровня сигнала. При этом звуковой сигнал тоже имеет 16 градаций тона.

Типы деталей и конструкция

Вместо операционного усилителя D1 TL074N можно попробовать применить TL084N.

Микросхема D2 - это счетверенный аналоговый ключ типа CD4066, который можно заменить на отечественную микросхему K561КТ3.

Микроконтроллер D4 AT90S2313-10PI прямых аналогов не имеет. В схеме не предусмотрены цепи для его внутрисхемного программирования, поэтому контроллер желательно устанавливать на панельку, чтобы его можно было перепрограммировать.

Транзистор VT1 типа IRF740 можно попробовать заменить на IRF840.

Транзисторы VT2...VT4 типа 2N5551 можно заменить на KT503 с любым буквенным индексом. Однако следует обратить внимание на тот факт, что они имеют другую цоколевку.

Светодиоды могут быть любого типа, VD8 желательно взять другого цвета свечения. Диоды VD1, VD2 типа 1N4148.

Резисторы могут быть любых типов, R1 и R3 должны иметь рассеиваемую мощность 0,5 (Вт), остальные могут быть 0,125 или 0,25 (Вт). R9 и R11 желательно подобрать, чтобы их сопротивление отличалось не более, чем на 5%.

Конденсатор C1 – электролитический, на напряжение 16В, остальные конденсаторы керамические.

Кнопка S1, переключатели S3, S4, переменный резистор R29 могут быть любых типов, которые подходят по габаритам. В качестве источника звука можно использовать пьезоизлучатель или головные телефоны от плеера.

Конструкция корпуса прибора может быть произвольной. Штанга вблизи датчика (до 1 метра) и сам датчик не должны иметь металлических деталей и элементов крепления. В качестве исходного материала для изготовления штанги удобно использовать пластиковую телескопическую удочку.

Датчик содержит 27 витков провода диаметром 0,6 - 0,8 мм, намотанного на оправке 190 (мм). Датчик не имеет экрана и его крепление к штанге должно осуществляться без применения массивных шурупов, болтов и т.д. (!) Для соединения датчика и электронного блока нельзя использовать экранированный кабель из-за его большой емкости. Для этих целей надо использовать два изолированных провода, например типа МГШВ, свитых вместе.

Налаживание прибора

ВНИМАНИЕ! В приборе имеется высокое, потенциально опасное для жизни напряжение – на коллекторе VT1 и на датчике. Поэтому при настройке и эксплуатации следует соблюдать меры электробезопасности.

Настройку прибора рекомендуется проводить в следующей последовательности:

1. Убедиться в правильности монтажа.
2. Подать питание и убедиться, что потребляемый ток не превышает 100 (мА).
3. С помощью подстроечного резистора R7 добиться такой балансировки усилительного тракта, чтобы осциллограмма на выводе 7 D1.4 соответствовала осциллограмме 4 на рис.4. При этом необходимо следить за тем, чтобы сигнал в конце интервала D был неизменным, т.е. осциллограмма в этом месте должна быть горизонтальной.

В дальнейшей настройке правильно собранный прибор не нуждается. Необходимо поднести датчик к металлическому объекту и убедиться в работе органов индикации. Описание работы органов управления приводится ниже, в описании программного обеспечения.

Программное обеспечение

На момент написания этой статьи было разработано и протестировано программное обеспечение версий V1.0-demo, V1.1 для первой версии прибора и V2.4-demo, V2.4 для второй версии. Демо-версия программы полностью работоспособна и отличается только отсутствием точной регулировки чувствительности. Полные версии поставляются в уже прошитых микроконтроллерах, входящих в состав набора МАСТЕР КИТ NM8042 . HEX файл прошивок V1.0-demo и V2.4-demo можно скачать [здесь](#).

Работа над новыми версиями программного обеспечения продолжается, планируется введение дополнительных режимов. Новые версии, после их всестороннего тестирования, будут доступны в наборах МАСТЕР КИТ.

Работа с прибором

В начале работы необходимо включить питание прибора, поднять датчик на уровень 60-80 см от грунта и нажать на кнопку "Сброс". В течении 2-х секунд прибор произведет автонастройку. По окончании автонастройки прибор издаст характерный короткий звук. После этого датчик необходимо приблизить к грунту (в месте, где отсутствуют металлические предметы) на расстояние 3-7 см и отрегулировать чувствительность с помощью резистора R29. Ручку необходимо вращать до исчезновения ложных откликов. После этого можно приступить к поискам. При появлении индикации разряда батарей поиски необходимо прекратить, выключить прибор и заменить источник питания.

Заключение

Чтобы сэкономить время и избавить Вас от рутинной работы по поиску необходимых компонентов и изготовлению печатных плат МАСТЕР КИТ предлагает набор NM8042.

На рис.7 приведен рисунок печатной платы (для схемы рис.3) и расположение компонентов на ней.

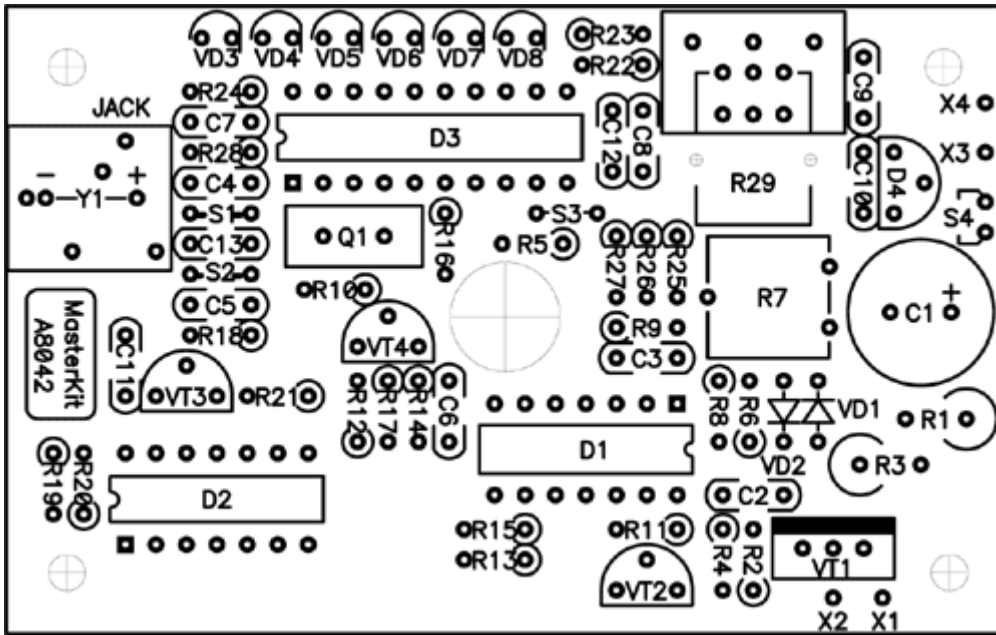


Рис. 7.1. Вид печатной платы сверху.

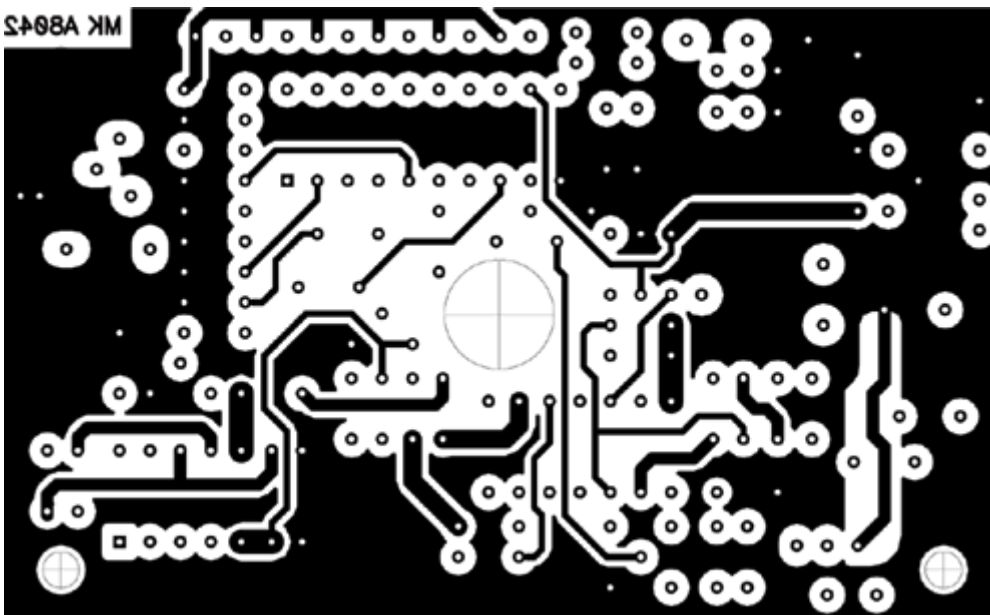


Рис.7.2. Вид печатной платы снизу.

Набор состоит из заводской печатной платы, прошитого контроллера с версией программы V 1.1, всех необходимых компонентов, пластикового корпуса и инструкции по сборке и эксплуатации. Конструктивные упрощения были сделаны сознательно, с целью уменьшения стоимости набора.

Изготовление поисковой катушки

Катушка представляет собой 27 витков эмалированного провода сечением 0,7-0,8 мм, намотанных в виде кольца 180-190 мм. После намотки катушки витки необходимо

обмотать изоляционной лентой. Для подключения датчика необходимо изготовить витую пару из монтажного провода. Для этого берется два куска провода нужной длины, и свиваются вместе из расчета одна скрутка на сантиметр. С одной стороны этот кабель подпаивается к катушке, с другой к плате. Корпус датчика и штанга металлоискателя не должны содержать металлических деталей!

Доработка корпуса

Перед установкой платы металлоискателя в корпус, в нем необходимо сделать отверстия под выносные элементы.

На рис.8 показаны отверстия на передней панели под светодиоды, регулятор чувствительности R29, выключатель питания S4 и кнопку сброса S1. На рис.9 – отверстие на боковой поверхности корпуса под телефонный разъем Earphone JACK. На рис.10 – отверстия на задней панели под кабель питания и под кабель поисковой катушки.

Внешний вид собранной электронной начинки показан на рис. 11.

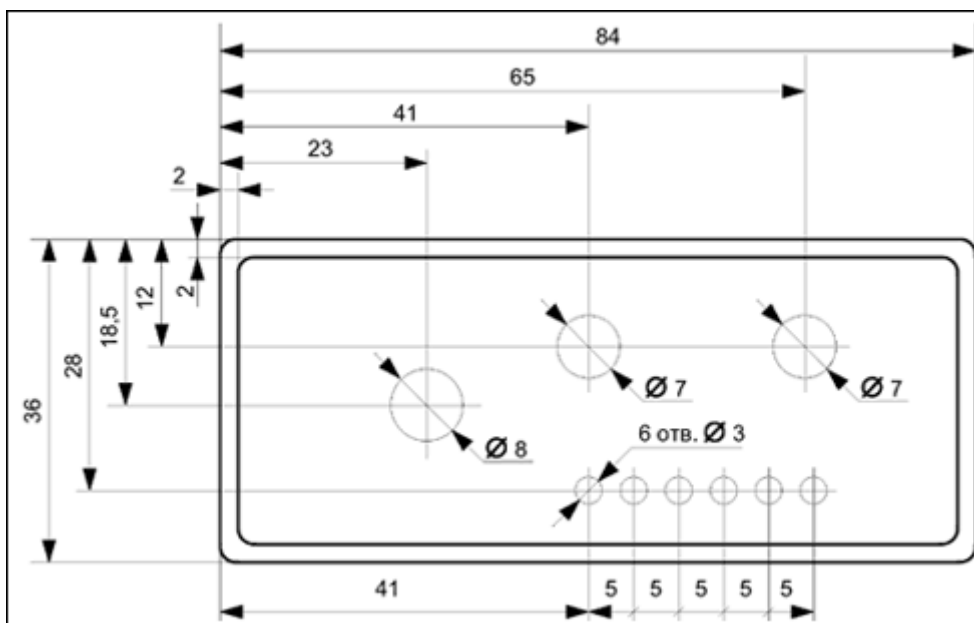


Рис.8. Отверстия на передней панели корпуса под светодиоды.

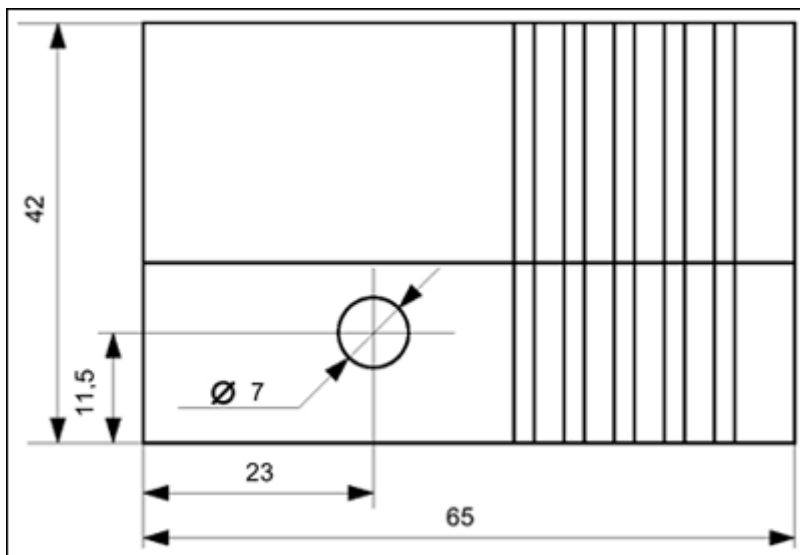


Рис.9. Отверстие на боковой поверхности корпуса под телефонный разъем.

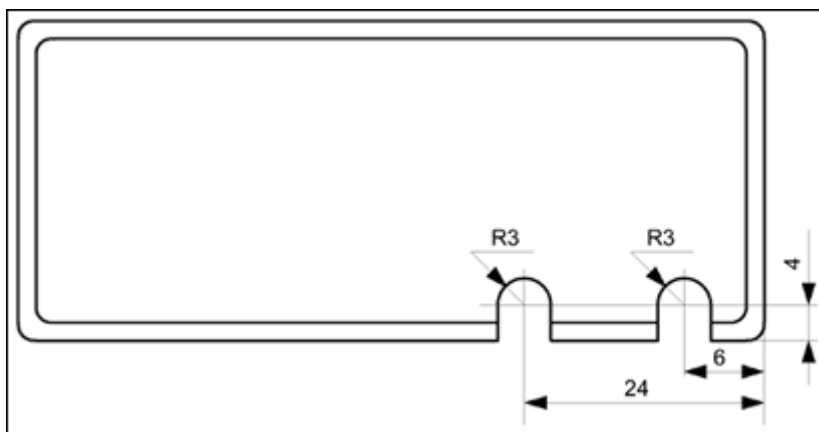


Рис.10. Отверстия на задней панели под кабель питания и под кабель поисковой катушки.



Рис.11. Внешний вид электронной начинки микропроцессорного импульсного металлоискателя из набора NM8042.