

М. В. АДАМЕНКО

Металлоискатели



МОСКВА 2006

УДК 004.2
ББК 32.973.26-018.2
M79

Адаменко М.В.
М79 Металлоискатели. М.: Издательский дом «ДМК-пресс», 2006.
— 128 с.: ил.

ISBN 5-9706-0022-9

Книга предназначена для радиолюбителей, интересующихся вопросами поиска различных металлических предметов с помощью специального оборудования, к которому, в первую очередь, относятся металлоискатели.

В соответствующих разделах приведены принципиальные схемы и рисунки печатных плат как простых, так и более сложных конструкций. Даны рекомендации по самостоятельному изготовлению и настройке металлоискателей, а также советы по их практическому применению.

Настоящее издание будет полезно не только подготовленным радиолюбителям, но и всем читателям, интересующимся данной темой, поскольку большинство представленных конструкций может изготовить как взрослый, так и школьник, никогда не державший в руках паяльник.

ББК 32.973.26-018.2
УДК 004.2

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно остается, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможный ущерб любого вида, связанный с применением содержащихся здесь сведений.

Все торговые знаки, упомянутые в настоящем издании, зарегистрированы. Случайное неправильное использование или пропуск торгового знака или названия его законного владельца не должно рассматриваться как нарушение прав собственности.

ISBN 5-9706-0022-9

© Издательский дом «ДМК-пресс», 2006
© Адаменко М.В., 2006

От автора

Уважаемые читатели!

Прежде всего, считаю необходимым ознакомить вас со следующей информацией.

Любые оценки и рекомендации, данные в книге, являются личным мнением автора и не могут рассматриваться как реклама или антиреклама. Ссылки на источники публикуемых материалов, а также иные сведения даются исключительно в информационных целях.

Автор старался предоставлять точные и проверенные сведения, однако не может гарантировать полную достоверность приведенных в книге схем, рисунков и иных материалов. Вся информация, изложенная в этой книге, приводится «как есть» (as is) с возможными ошибками, без всяких гарантий, выраженных прямо или подразумеваемых. Поэтому ни автор, ни издательство не несут ответственность за возможные последствия, вызванные использованием представленных материалов, схем, рисунков и иной информации, в том числе за любые прямые или косвенные убытки, возникшие в результате практического или теоретического применения сведений, изложенных в этой книге.

Использование схем и рисунков, а также иной изложенной в данной книге информации осуществляется читателем на собственные страх и риск с возложением на него ответственности за все возможные последствия, в том числе за возникшие у него или у третьих лиц прямые или косвенные убытки.

**С уважением и наилучшими пожеланиями,
М.В. Адаменко**



Благодарность

Выражаю глубокую благодарность Валерию Владимировичу Адаменко за всестороннюю помощь, оказанную мне в процессе работы над этой книгой.

Желаю моему дорогому брату, одному из самых фанатично увлеченных, неутомимых и настойчивых из всех известных мне искателей, найти в этой жизни все те клады, которые он ищет, а также по достоинству оценить те сокровища, которые он уже нашел. Ведь зачастую самым трудным бывает не найти что-либо, а сохранить то, что тебе даровано.



Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	10
-------------------	----

ГЛАВА 1

КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИДЫ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ	13
---------------------------------------------	----

1.1. Классификация металлоискателей	14
-------------------------------------------	----

В зависимости от сложности и функциональных возможностей металлоискатели можно условно разделить на простые, полупрофессиональные и профессиональные. Оценивая параметры сигнала, который формируется и обрабатывается в конкретном устройстве, металлоискатели условно подразделяются на приборы, работающие с непрерывным (аналоговым) сигналом в резонансном или частотном режиме, а также на приборы, использующие импульсный сигнал с последующей оценкой изменения его параметров во времени. В отдельные категории можно выделить различные магнитометры, а также устройства специального назначения. В некоторых источниках можно встретить классификацию металлодетекторов, проводимую на основе оценки диапазона частот, в котором работает данное устройство.

1.1.1. Металлоискатели категории FD (Frequency Domain)	15
--------------------------------------------------------------	----

Большинство конструкций металлоискателей принадлежат к приборам категории FD (Frequency Domain) и используют принцип оценки изменения электрического поля под влиянием металлического предмета.

1.1.2. Металлоискатели категории TD (Time Domain)	16
---------------------------------------------------------	----

Среди детекторов металлических предметов, принадлежащих к сравнительно новой категории TD (Time Domain), отдельную группу образуют так называемые радиолокационные металлоискатели. Вторую группу составляют устройства, в которых в качестве излучаемого сигнала также используется импульсный сигнал, однако длительность этих импульсов значительно больше, чем в радиолокационных металлоискателях.



1.2. Принципы построения металлоискателей 17

В настоящее время существует множество базовых принципов, основанных на разных физических явлениях, положенных в основу самых разнообразных конструкций металлоискателей. Следует отметить, что в последнее время в связи с развитием элементной базы появилась возможность практической реализации идей, воплощение которых ранее считалось маловероятным.

1.2.1. Металлоискатели FM (Frequency Meter) 17

Одним из первых возможных вариантов построения детектора металлических предметов, который может прийти в голову любому человеку, хотя бы немного знакомому с основами электротехники, можно считать устройство, в основе которого лежит изменение частоты генератора под влиянием металлического предмета.

1.2.2. Металлоискатели BFO (Beat Frequency Oscillator) 18

Благодаря простоте схемотехнических решений использующие принцип биений металлоискатели типа BFO получили широкое распространение. В основу этих устройств положено явление формирования биений, возникающих при смешивании двух близких по частоте сигналов.

1.2.3. Металлоискатели OR (Off Resonance) 19

Интересные схемотехнические решения можно встретить при рассмотрении конструкций металлодетекторов, в основу работы которых положен принцип оценки изменения амплитуды сигнала на катушке контура, резонансная частота которого близка к частоте подаваемого на него сигнала опорного генератора. Главным достоинством таких устройств, иногда обозначаемых сокращением OR, являются простота и надежность.

1.2.4. Металлоискатели TR-IB (Transmitter Receiver — Induction Balance) 19

В последнее время особой популярностью пользуются металлоискатели TR-IB, или просто TR, в основу которых положен принцип «прием-передача». В таких устройствах, называемых балансными металлодетекторами, система катушек сбалансирована до нулевой взаимной индукции.

1.2.5. Радиолокационные металлоискатели 20

В различных источниках можно встретить весьма оригинальные схемотехнические решения металлоискателей, работа которых основана на принципе, используемом в радиолокации. Как и в радиолокаторах, информация о наличии в зоне действия прибора какого-либо объекта (дальность, размеры и т.п.) оценивается после обработки параметров импульсного сигнала, отраженного от этого объекта.



- 1.2.6. Импульсные металлоискатели PI (Puls Induction) 21
В импульсных металлодетекторах типа PI (Puls Induction) для оценки наличия металлических предметов в зоне поиска используется явление возникновения вихревых поверхностных токов в металлическом предмете под воздействием внешнего электромагнитного поля. Однако в отличие от устройств типа TR-IB в импульсных металлоискателях анализируется сигнал, формирующийся в металле после воздействия не непрерывного, а импульсного сигнала.

ГЛАВА 2 МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ НА ТРАНЗИСТОРАХ 23

2.1. Простой транзисторный металлоискатель 24

Несмотря на то что схема предлагаемого металлоискателя и конструкция поисковой катушки очень просты, чувствительность данного устройства вполне достаточна для обнаружения небольших металлических предметов.

2.2. Простой металлоискатель на двух транзисторах 28

С помощью этого металлодетектора, выполненного всего на двух транзисторах, можно обнаруживать металлические предметы, удаленные от поисковой катушки на несколько десятков сантиметров.

2.3. Металлоискатель со стрелочным индикатором 32

Особенностью предлагаемого металлоискателя, обладающего сравнительно высокой чувствительностью, является то, что в качестве индикатора используется стрелочный прибор. По направлению отклонения стрелки индикатора можно определить вид металла (цветной или черный), из которого изготовлен обнаруженный предмет.

2.4. Металлоискатель со светодиодной индикацией 34

Схема оригинального прибора, предназначенного для обнаружения в стенах скрытой электропроводки или водопроводных труб, послужила основой для создания простого металлоискателя со светодиодной индикацией.

2.5. Металлоискатель с повышенной чувствительностью 37

В основу работы этого металлоискателя положен принцип анализа изменений биений колебаний двух генераторов, частота одного из которых стабильна, а частота второго изменяется при появлении в зоне действия прибора металлического предмета.

2.6. Металлоискатель МИ-2 42

В первой половине 70-х годов прошлого столетия в Советском Союзе был разработан и серийно выпускался металлоискатель МИ-2, который широко использовался в народном хозяйстве. Схема и конструкция этого прибора неоднократно дорабатывались и совершенствовались.



2.7. Металлоискатель с кварцем 47

Данная конструкция представляет собой один из вариантов металлодетекторов типа FM (Frequency Meter). Основным элементом, с помощью которого осуществляется анализ наличия металлических предметов, является кварц. При этом результаты анализа оцениваются визуально.

2.8. Усовершенствованный металлоискатель с кварцем 50

Предлагаемая конструкция является усовершенствованным вариантом металлоискателя, рассмотренного в разделе 2.7. Одной из главных отличительных особенностей этого металлоискателя является использование в качестве индикатора не только стрелочного прибора, но и схемы акустической сигнализации.

ГЛАВА 3

МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ НА МИКРОСХЕМАХ 53

3.1. Простой металлоискатель на микросхеме K155ЛА3 54

Начинающим радиолюбителям можно рекомендовать для повторения конструкцию простого металлоискателя, основой для которого послужила схема, неоднократно публиковавшаяся в конце 70-х годов прошлого столетия в различных отечественных и зарубежных специализированных изданиях. Этот металлодетектор типа BFO, выполненный всего на одной микросхеме типа K155ЛА3, можно собрать за несколько минут.

3.2. Простой металлоискатель на микросхеме K176ЛЕ5 57

Среди начинающих радиолюбителей большой популярностью пользуются схемы металлодетекторов, которые работают по принципу анализа частоты сигнала биений, возникающего при смешивании двух близких по частоте сигналов (принцип BFO). Такие приборы просты в изготовлении и наладке, о чем можно судить, ознакомившись с предлагаемой конструкцией.

3.3. Простой металлоискатель на микросхеме K561ЛЕ5 60

Данный металлодетектор представляет собой один из многочисленных вариантов прибора типа BFO, то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух частот. При этом в рассматриваемой конструкции оценка изменения частоты осуществляется на слух.

3.4. Металлоискатель с повышенной чувствительностью 64

Попытка создать детектор металлических предметов типа BFO, лишенный хотя бы некоторых недостатков, присущих металлоискателям этого типа, была предпринята при разработке устройства, в основу которого положена схема, опубликованная в отечественных и зарубежных изданиях в середине 90-х годов прошлого столетия.

3.5. Металлоискатель на микросхеме K176ЛП2 69

Простой и в то же время надежный и эффективный металлоискатель BFO, работающий по принципу оценки изменений частоты сигнала биений, можно собрать всего на одной микросхеме K176ЛП2.



3.6. Металлоискатель на трех микросхемах 72

Предлагаемый прибор представляет собой один из вариантов металлодетекторов типа ВFO, в основу которого положен принцип анализа биений двух сигналов, близких по частоте.

3.7. Металлоискатель с кварцевой стабилизацией 76

В последнее время на прилавках радиорынков можно найти всевозможные конструкторы или наборы комплектующих деталей, приобретя которые любой желающий без особых усилий быстро соберет простейший металлоискатель. Основой для одного из таких наборов послужила схема металлодетектора, впервые опубликованная в конце 80-х годов прошлого столетия и после этого с различными изменениями и дополнениями не раз публиковавшаяся в различных отечественных и зарубежных изданиях.

3.8. Простой импульсный металлоискатель 80

В последнее время сравнительно широкое распространение получили импульсные металлоискатели типа PI, в которых для оценки наличия металлических предметов в зоне поиска используется явление возникновения вихревых поверхностных токов в металлическом предмете под воздействием внешнего электромагнитного поля.

3.9. Усовершенствованный импульсный металлоискатель 87

Как и металлоискатели других типов, металлодетекторы типа PI, постоянно совершенствуются. В результате применения новых схемотехнических решений удастся добиться еще более высокой чувствительности этих приборов. Так, например, можно улучшить чувствительность детектора металлических предметов, рассмотренного в разделе 3.8.



Предисловие

Каждому человеку в большей или меньшей степени свойственно любопытство по отношению к различным природным и жизненным явлениям. Это в равной степени касается как области духовной, так и материальной. Вопросы о смысле человеческой жизни, о поиске этого смысла, а также о вечности и бесконечности так же стары, как и само человечество. Люди мечтают и по мере сил и возможностей стремятся найти что-то в жизни. Некоторых из нас интересуют деньги, машины, недвижимость или, к примеру, успех в бизнесе. Для других гораздо важнее любовь, гармония, человечность, призвание или внутреннее равновесие.

Среди пытливых российских умов значительную часть составляют энтузиасты, все свое свободное время прямо или косвенно посвящающие поиску различных предметов, в том числе и металлических, а также разработке и изготовлению приборов, облегчающих эту нелегкую задачу.

С первыми упоминаниями о радиоэлектронных приборах, специально разработанных для обнаружения металлических предметов, расположенных на небольшой глубине под поверхностью земли, автор столкнулся при изучении материалов о ходе боевых действий в начальный период войны между Советским Союзом и Финляндией в 1939 году, для многих неизвестной. Именно тогда при проведении наступательных операций частям Красной Армии пришлось преодолевать обширные и практически непроходимые минные поля не только на равнинных пространствах, но и в карельских лесах.

Через несколько дней после начала войны группа инженеров получила государственный заказ на разработку специального прибора, с помощью которого можно было бы обнаруживать мины под небольшим слоем земли или снега. Следует отметить, что срок исполнения заказа был весьма ограничен. Однако по утвердившейся в те годы традиции заказ был выполнен досрочно и с высоким качеством. По некоторым данным, с момента начала работ до первых удачных испытаний образца, предназначенного для серийного производства, прошло всего три недели. Этот прибор и был первым из известных автору металлоискателей. Правда, тогда он имел более конкретное название — миноискатель.



К сожалению, имена специалистов, создавших первый отечественный металлоискатель, автору выяснить не удалось. Однако от этого значение их научного и трудового подвига не становится меньше.

С тех пор прошло много лет. В настоящее время на вооружении всех армий мира находятся самые разнообразные металлоискатели. Глобальные изменения претерпела элементная база, значительно пополнилась копилка теоретических изысканий, свой вклад в развитие металлоискателей внесла и практика их повседневного использования.

Без преувеличения можно утверждать, что устройства, с помощью которых можно относительно легко и быстро обнаруживать металлические предметы в различных средах (почве, воде, бетоне, дереве, снеге и т. п.) в сравнительно широком диапазоне глубины залегания (от нескольких миллиметров до нескольких метров), всегда были и будут востребованы не только у профессионалов. В данном контексте под профессионалами автор подразумевает не только представителей силовых структур, но и строителей, работников коммунальных служб, а также представителей других профессий, которым металлоискатели (металлодетекторы) просто необходимы в повседневной деятельности. Такие приборы стали неотъемлемой частью экипировки и любого уважающего себя кладоискателя. Особо следует отметить, что использование металлоискателей участниками поисковых отрядов значительно облегчает выполнение их благородной миссии на полях былых сражений.

Как всегда, спрос рождает предложение. Поэтому на прилавках специализированных магазинов выбор всевозможных металлоискателей также практически неограничен. Помимо этого все желающие могут собрать такое устройство самостоятельно, воспользовавшись рекомендациями, которые можно найти в специализированных изданиях.

В последнее время на радиорынках продаются всевозможные конструкторы или наборы комплектующих деталей, приобретая которые любой желающий без особых усилий быстро соберет простейший металлодетектор. Предлагаемые конструкторы отличаются друг от друга не только ценой и степенью сложности прибора, который можно изготовить, но и принципом действия, положенным в основу конкретного устройства, а также техническими параметрами (в первую очередь чувствительностью).

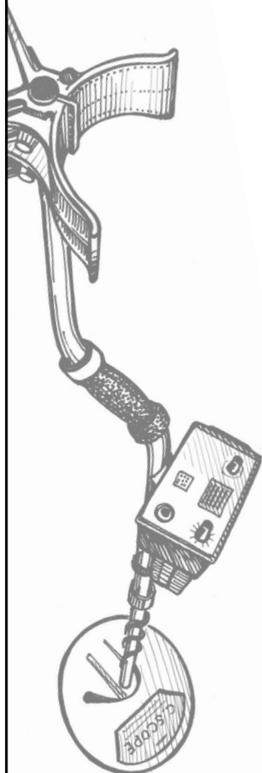
Автор имел удовольствие ознакомиться с несколькими такими «детско-юношескими» конструкторами, которые можно рекомендовать и взрослым. Чаще всего детали, входящие в состав подобных наборов, позволяют собрать металлоискатели типа BFO (Beat Frequency Oscillator), в которых оценивается изменение частоты сигнала биений. При этом схемотехнические решения этих устройств довольно разнообразны. Однако встречаются интересные конструкции детекторов металлических предметов, в основу функционирования которых положены и другие принципы (например импульсные, индукционные, принцип частотомера и т. д.).



Следует признать, что автор всегда поддерживал и поддерживает идею продажи наборов, предназначенных для сборки как металлоискателей, так и других радиоэлектронных устройств.

В предлагаемой вниманию читателей книге рассматриваются вопросы самостоятельного изготовления металлоискателей, в основу которых положены наиболее распространенные принципы построения таких приборов. При этом приводятся конструкции разной степени сложности, что позволит всем желающим попробовать свои силы, начав со сборки сравнительно простых устройств и постепенно переходя к созданию более сложной поисковой аппаратуры.





КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИДЫ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ

1.1. Классификация металлоискателей 14

В зависимости от сложности и функциональных возможностей металлоискатели можно условно разделить на простые, полупрофессиональные и профессиональные. Оценивая параметры сигнала, который формируется и обрабатывается в конкретном устройстве, металлоискатели условно подразделяются на приборы, работающие с непрерывным (аналоговым) сигналом в резонансном или частотном режиме, а также на приборы, использующие импульсный сигнал с последующей оценкой изменения его параметров во времени. В отдельные категории можно выделить различные магнитометры, а также устройства специального назначения. В некоторых источниках можно встретить классификацию металлодетекторов, проводимую на основе оценки диапазона частот, в котором работает данное устройство.

1.2. Принципы построения металлоискателей 17

В настоящее время существует множество базовых принципов, основанных на разных физических явлениях, положенных в основу самых разнообразных конструкций металлоискателей. Следует отметить, что в последнее время в связи с развитием элементной базы появилась возможность практической реализации идей, воплощение которых ранее считалось маловероятным.



1

Классификация и виды металлоискателей

Перед тем как приступить к непосредственному рассмотрению схемных решений и конструкций металлоискателей, автор считает необходимым привести некоторые весьма ограниченные сведения о классификации и принципах построения таких устройств.

1.1. Классификация металлоискателей

Классификация современных металлоискателей, иногда называемых детекторами металлических предметов или металлодетекторами, обычно проводится с использованием нескольких основополагающих критериев.

В зависимости от сложности и функциональных возможностей металлоискатели можно условно разделить на простые, полупрофессиональные и профессиональные. В современной литературе чаще всего встречаются описания простых, или любительских, конструкций, изредка — полупрофессиональных. С описанием некоторых профессиональных приборов, принципами их построения, а также с различными методиками проведения поисковых работ можно ознакомиться пока лишь в зарубежных изданиях.

Помимо этого в зарубежной литературе, к примеру, часто приводится классификация электронных детекторов металлических предметов, основанная на оценке используемого сигнала. В зависимости от того, какой сигнал формируется и обрабатывается в конкретном устройстве, металлоискатели условно подразделяются на несколько категорий.

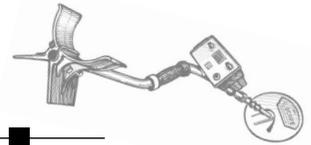
В первую входят приборы, работающие с непрерывным (аналоговым) сигналом в резонансном или частотном режиме. В большинстве встречавшихся автору конструкций этот сигнал имел синусоидальную форму. Иногда такие устройства называют металлодетекторами группы FD (Frequency Domain).

Ко второй категории отнесены приборы, использующие импульсный сигнал с последующей оценкой изменения его параметров во времени. Такие детекторы металлических предметов иногда называют устройствами группы TD (Time Domain).



В отдельную категорию можно выделить различные магнитометры. В основу функционирования таких металлодетекторов положен принцип измерения изменений магнитного поля под влиянием металлических предметов. К сожалению, подробное рассмотрение принципов построения и особенностей конструкции магнитометров выходит за рамки настоящего издания.





Помимо этого существует весьма обширная категория так называемых устройств специального назначения. Приборы, входящие в эту группу, было бы правильно называть не детекторами металлических предметов, а просто детекторами предметов, поскольку в таких устройствах анализируются аномалии электромагнитного поля Земли, вызванные любым находящимся в почве предметом, в том числе и немагнитным. Появление и дальнейшее бурное развитие таких приборов были обусловлены использованием на различных театрах военных действий пластиковых (бескорпусных) мин. Следует признать, что упомянутые устройства специального назначения достаточно сложны и дороги. Поэтому подробное рассмотрение принципов построения и особенностей конструкции подобных приборов также выходит за рамки настоящего издания.

Необходимо отметить, что в некоторых источниках можно встретить классификацию металлодетекторов, проводимую на основе оценки диапазона частот, в котором работает данное устройство. Так, например, приборы, обозначаемые сокращением VLF (Very Low Frequency) работают в диапазоне частот от 3 до 30 кГц. Устройства, использующие частоты от 30 до 300 кГц, обозначаются сокращением LF (Low Frequency). Для детекторов, работающих на частотах от 300 кГц до 3 МГц, применяют сокращение MF (Medium Frequency), а для приборов с рабочей частотой в диапазоне от 3 до 30 МГц — сокращение HF (High Frequency).

Существуют и другие системы классификации детекторов металлических предметов. Однако при рассмотрении отдельных конструкций автор старался в предлагаемой книге придерживаться приведенных выше критериев.

1.1.1 Металлоискатели категории FD (Frequency Domain)

Большинство известных автору конструкций металлоискателей принадлежат к приборам категории FD (Frequency Domain) и используют принцип оценки изменения электрического поля под влиянием металлического предмета. Общим признаком таких устройств является активная катушка, формирующая электрическое поле. Впрочем, из этого правила есть и исключение: детекторы металлических предметов, работающие по принципу «передача-прием». В них используются две катушки: передающая и приемная.

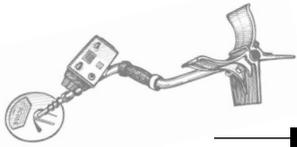


Отдельные конструкции металлодетекторов группы FD отличаются способом анализа изменения параметров поля под влиянием близко расположенных металлических предметов, а также критериями оценки этих изменений.

Среди приборов категории FD наиболее распространенными, благодаря простоте схемотехнических решений, являются детекторы металлических предметов, в основу которых положен принцип измерения частоты биений, возникающих при сложении двух близких по частоте сигналов. В специализированной литературе такие устройства часто называют металлоискателями BFO (Beat Frequency Oscillator). Необходимо признать, что при поиске металлов со слабыми ферромагнитными свойствами, например таких, как медь, олово или серебро, металлоискатели BFO обладают меньшей чувствительностью по сравнению с приборами, работа которых основана на других принципах.

Металлодетекторы, в которых используется принцип измерения девиации частоты опорного генератора под влиянием металлических предметов, попавших в зону действия поисковой катушки, можно выделить в группу устройств, называемых металлоискателями на основе частотомера. В специализированной литературе такие приборы иногда обозначают сокраще-





нием FM (Frequency Meter). Можно утверждать, что в настоящее время, в связи с развитием элементной базы, устройства такого типа переживают второе рождение.

В специальной литературе иногда приводятся схемы детекторов металлических предметов, в основу которых положен так называемый внерезонансный или околорезонансный принцип. В этих устройствах изменение частоты и амплитуды измерительного генератора анализируется с помощью фильтра, настроенного на околорезонансную частоту, т. е. на спаде его характеристики. Такие приборы часто обозначают сокращением OR (Off Resonance).

Отдельную группу составляют мостовые детекторы металлических предметов. Особенность схемы таких приборов состоит в том, что измерительная (поисковая) катушка включается в одно из плеч измерительного моста (на резонансной или околорезонансной частоте). При этом оценивается изменение напряжения на диагонали реактивного сопротивления.

В последнее время значительно повысился интерес к детекторам металлических предметов, функционирование которых основано на так называемом принципе «передача-прием». Следует учесть, что в широком смысле к металлоискателям, использующим принцип «передача-прием», относятся не только устройства, работающие с непрерывным сигналом (категории FD), но и приборы, использующие импульсный сигнал (категории TD). Главное различие этих двух групп металлодетекторов заключается не только в форме используемого сигнала. Устройства, работающие с синусоидальным сигналом, оснащены двумя катушками — передающей и приемной. При этом система катушек сбалансирована до нулевой взаимной индукции. Поэтому часто такие приборы называют балансными металлодетекторами. В зарубежной литературе эти металлоискатели обычно обозначают сокращением TR-IB (Transmitter Receiver — Induction Balance) или просто TR. В устройствах типа TR-IB в процессе поиска на принимающую катушку поступает сигнал, инициированный вихревыми токами, возникающими в металлическом предмете под воздействием передающего сигнала. Анализ параметров принятого сигнала (например амплитуда и сдвиг фазы) и является источником информации о наличии и особенностях металлических предметов, обнаруженных в зоне работы прибора.



Существуют и другие группы металлоискателей категории FD. Однако ограниченный объем данного издания не позволяет подробно рассмотреть принципы их функционирования. С особенностями построения и работы таких устройств можно ознакомиться в специализированной литературе.

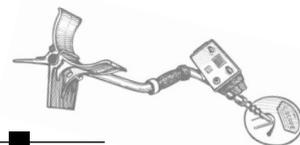
1.1.2. Металлоискатели категории TD (Time Domain)

Среди детекторов металлических предметов, использующих импульсный сигнал с последующей оценкой его изменения во времени и принадлежащих к сравнительно новой категории TD (Time Domain), также можно выделить несколько базовых групп.

К первой относятся так называемые радиолокационные металлоискатели. В таких устройствах оцениваются параметры микроволнового сигнала, отраженного от металлического предмета. При этом амплитуда отраженного сигнала зависит не только от размеров предмета, но и от проводимости материала. Помимо амплитуды анализируется и задержка отраженного сигнала, несущая информацию о глубине залегания металлического предмета.

Вторую группу металлодетекторов категории TD составляют устройства, в которых в качестве излучаемого сигнала также используется импульсный сигнал. Однако длительность этих импульсов значительно больше, чем в радиолокационных металлоискателях. При этом обеспечивается возбуждение в металлическом предмете вихревых токов, информация о которых





анализируется в соответствующих каскадах. Такие приборы иногда обозначают сокращением TR-PI (Transmitter Receiver — Puls Induction) или просто PI.

Следует отметить, что в основу функционирования всех рассмотренных выше устройств этой категории положен принцип «передача — прием». Однако основное конструктивное отличие, к примеру, металлодетекторов типа TR-PI от устройств типа TR-IV заключается в том, что в импульсных приборах в качестве приемной и передающей может использоваться одна и та же катушка.

1.2. Принципы построения металлоискателей

При первой же попытке провести классификацию детекторов металлических предметов можно сделать безошибочный вывод о том, что в настоящее время существует довольно значительное число базовых принципов, основанных на разных физических явлениях, положенных в основу самых разнообразных конструкций.

Следует отметить, что в последнее время в связи с развитием элементной базы появилась возможность практической реализации идей, воплощение которых ранее считалось маловероятным.

В связи с ограниченным объемом данной книги далее будут рассмотрены лишь некоторые из наиболее популярных видов металлоискателей.

1.2.1. Металлоискатели FM (Frequency Meter)

Одним из первых возможных вариантов построения детектора металлических предметов, который может прийти в голову любому человеку, хотя бы немного знакомому с основами электротехники, можно считать устройство, в основе которого лежит изменение частоты генератора под влиянием металлического предмета.

Из школьных учебников физики известно, что частота сигнала, генерируемого в контуре, образуемом параллельно включенными катушкой L и конденсатором C , зависит от индуктивности катушки и емкости конденсатора. При изменении хотя бы одного из этих параметров изменится резонансная частота контура, что приведет к соответствующему изменению и частоты генерации. Легче всего можно изменить индуктивность катушки. Для этого достаточно, например, поместить вблизи нее предмет из соответствующего металла. Данное физическое явление и положено в основу конструкции детекторов металлических предметов, работающих по принципу изменения частоты (рис. 1.1). В специализированной литературе такие устройства часто называют металлоискателями FM (Frequency Meter).

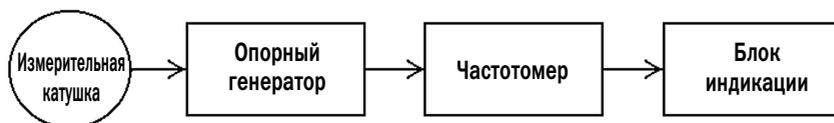
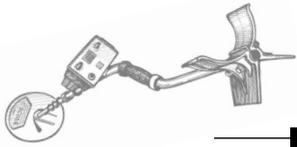


Рис. 1.1.
Упрощенная блок-схема металлоискателя, работающего по принципу частотомера

Несмотря на то, что о влиянии металлических предметов, помещаемых в зону возбуждаемого катушкой поля, на резонансную частоту контура давно известно, практическая реализация таких приборов до недавнего времени была довольно затруднительной. Причина заклю-





чалась в том, что оценивать изменение частоты контура на слух просто не представлялось возможным.

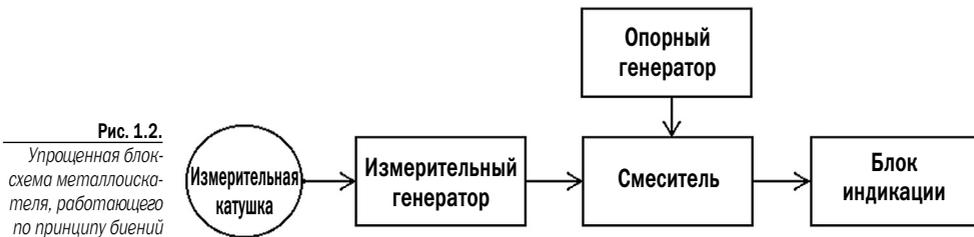
В настоящее время для анализа и оценки изменений девиации частоты используются микропроцессоры, функционирующие под управлением специальных программ.

При появлении металлического предмета в зоне возбуждаемого измерительной катушкой электромагнитного поля резонансная частота контура опорного генератора меняется. Это изменение оценивается частотомером, основу которого составляет микроконтроллер. Величина девиации частоты, а также ее знак зависят не только от глубины залегания и величины предмета, но и от вида металла, из которого он изготовлен. Обработанные данные поступают на блок индикации, в составе которого часто используется линейка светодиодов.

Следует отметить, что металлоискатели FM обладают большей чувствительностью по сравнению, например, с металлодетекторами BFO.

1.2.2. Металлоискатели BFO (Beat Frequency Oscillator)

Благодаря простоте схемотехнических решений использующие принцип биений металлоискатели типа BFO (Beat Frequency Oscillator) получили широкое распространение. В основу этих устройств положено явление формирования биений, возникающих при смешивании двух близких по частоте сигналов (рис. 1.2).



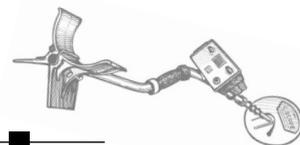
В металлодетекторах BFO используются два генератора, настроенных на одну и ту же частоту. При этом частота опорного (эталонного, образцового) генератора неизменна. Катушка контура измерительного генератора одновременно является поисковой или измерительной катушкой.

Когда в зоне возбуждаемой поисковой катушкой электромагнитного поля появляется металлический предмет, частота измерительного генератора изменяется. Сигнал измененной частоты подается на смеситель, где смешивается с сигналом опорной частоты. В результате на выходе смесителя выделяется сигнал с частотой биений, который поступает на блок индикации.

В качестве индикатора в металлоискателях на биениях обычно используются акустические устройства, однако встречаются конструкции со стрелочными и светодиодными индикаторами. При использовании акустических индикаторов по изменению знака биений довольно просто определить, из какого металла, цветного или черного, изготовлен предмет, находящийся в зоне действия прибора.

Необходимо отметить, что частота биений в металлодетекторах BFO лежит в низкочастотном диапазоне, ближе к нижней границе звукового восприятия человеческого уха. Это позволяет значительно упростить конструкцию блока индикации, поскольку биение частот главного (измерительного, поискового) и вспомогательного (опорного) генератора можно анализиро-





вать на слух. Однако чувствительность металлоискателей, работающих по принципу биений, оставляет желать лучшего. Тем не менее характеристики этих приборов вполне удовлетворяют неприязнительных пользователей.

1.2.3. Металлоискатели OR (Off Resonance)

Интересные схемотехнические решения можно встретить при рассмотрении конструкций металлодетекторов, в основу работы которых положен принцип оценки изменения амплитуды сигнала на катушке контура, резонансная частота которого близка к частоте подаваемого на него сигнала опорного генератора. Главным достоинством таких устройств, иногда обозначаемых сокращением OR (Off Resonance), являются простота и надежность (рис. 1.3).

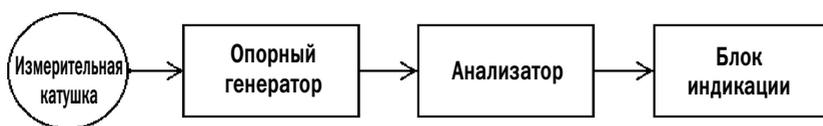


Рис. 1.3.
Упрощенная блок-схема металлоискателя, работающего на около-резонансной частоте

Измерительная катушка является составной частью колебательного контура, резонансная частота которого незначительно отличается от частоты опорного генератора. При появлении металлического предмета в зоне электромагнитного поля, возбуждаемого измерительной катушкой, резонансная частота этого контура изменяется. В зависимости от того, какой металл оказался в зоне действия данного устройства (цветной или черный), частота контура или увеличивается, или уменьшается. При этом происходят соответствующие изменения амплитуды колебаний опорного генератора, которые оцениваются анализатором. В результате анализатор формирует управляющий сигнал для блока индикации.

1.2.4. Металлоискатели TR-IB (Transmitter Receiver — Induction Balance)

Как уже отмечалось, в последнее время особой популярностью пользуются металлоискатели TR-IB (Transmitter Receiver — Induction Balance), или просто TR, в основу которых положен принцип «прием-передача» (рис. 1.4). В таких устройствах, называемых балансными металлодетекторами, система катушек сбалансирована до нулевой взаимной индукции.

Главная особенность устройств TR-IB заключается в том, что на приемную катушку поступает не отраженный сигнал передатчика, а сигнал, источником которого являются вихревые токи, возбуждаемые на поверхности металлического предмета.

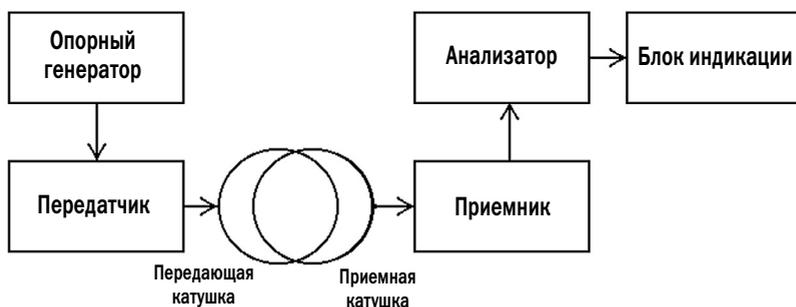
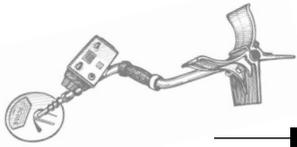


Рис. 1.4.
Упрощенная блок-схема металлоискателя, работающего по принципу «передача — прием»





Передающий сигнал, формируемый опорным генератором, поступает на передатчик и далее — на передающую катушку. При появлении металлического предмета в зоне излучения передающей катушки на его поверхности под воздействием сигнала VLF инициируются вихревые или поверхностные токи. Эти токи являются источником вторичного сигнала, который принимается приемной катушкой металлодетектора. С выхода приемника сигнал подается на анализатор, где происходит оценка его параметров. На основе проведенного анализа формируется соответствующий сигнал для блока индикации.

Следует отметить, что главными достоинствами таких металлоискателей являются высокая чувствительность, возможность отстройки не только от фона грунта, но и от разного мусора. И, конечно же, такие устройства позволяют определять вид металла. Главным же недостатком балансных металлодетекторов следует считать сложности, возникающие при изготовлении и балансировке системы катушек.

1.2.5. Радиолокационные металлоискатели

Последние достижения в области теоретических разработок и практического применения микроволновой техники, а также развитие элементной базы (в том числе микропроцессорной техники) позволяют ожидать, что в самом недалеком будущем появятся конструкции детекторов металлических предметов, в которых будет использован принцип радиолокации. Интерес к устройствам, в которых используется радиолокационный принцип, объясняется тем, что дальность действия таких металлоискателей несравнимо выше, чем у детекторов других типов.

В настоящее время в различных источниках можно встретить весьма оригинальные схемотехнические решения таких металлоискателей. Однако их практическая реализация пока довольно затруднительна.

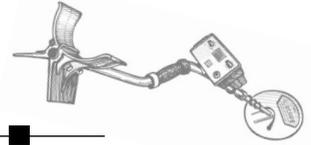
Основной построения таких устройств является принцип, используемый в радиолокации (рис. 1.5). Как и в радиолокаторах, информация о наличии в зоне действия прибора какого-либо объекта (дальность, размеры и т. п.) оценивается после обработки параметров импульсного сигнала, отраженного от этого объекта.



Импульсный сигнал, сформированный генератором импульсов, модулирует сигнал передатчика, который излучается антенной. По достижении объекта переданный сигнал отражается от него. Отраженный сигнал принимается антенной, а затем через антенный переключатель и приемник подается на анализатор. На каскады анализатора также подается сигнал, формируемый импульсным генератором.

Оба поступивших на анализатор сигнала сравниваются, после чего проводится оценка различий с последующим формированием данных для блока индикации. При этом информация о расстоянии до обнаруженного объекта формируется после оценки времени задержки отраженного сигнала, а сведения о величине объекта — по амплитуде этого сигнала.





1.2.6 Импульсные металлоискатели PI (Puls Induction)

Как и радиолокационные металлоискатели, импульсные металлодетекторы относятся к устройствам категории TD (Time Domain), использующим импульсный сигнал (рис. 1.6). При этом частота следования импульсов, формируемых в этих устройствах, составляет от нескольких десятков до нескольких сотен герц.

В импульсных металлодетекторах типа PI (Puls Induction) для оценки наличия металлических предметов в зоне поиска используется явление возникновения вихревых поверхностных токов в металлическом предмете под воздействием внешнего электромагнитного поля. Однако в отличие от рассмотренных ранее устройств типа TR-IB в импульсных металлоискателях анализируется сигнал, формирующийся в металле после воздействия не непрерывного, а импульсного сигнала.

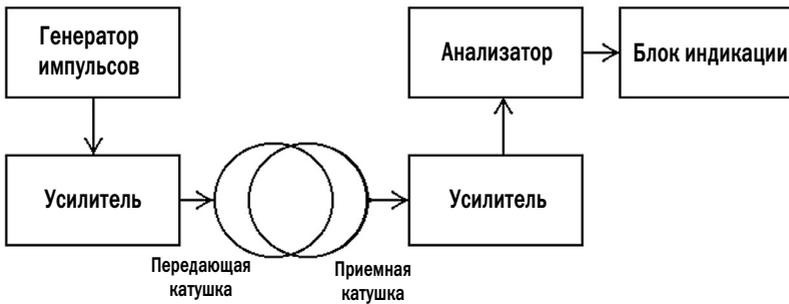


Рис. 1.6.
Упрощенная блок-схема импульсного металлоискателя

Импульсный сигнал, формируемый генератором импульсов, усиливается и поступает на передающую катушку, в которой соответственно инициируется переменное электромагнитное поле. При появлении металлического предмета в зоне действия этого поля на его поверхности периодически, под воздействием импульсного сигнала, возникают вихревые токи. Эти токи и являются источником вторичного сигнала, который принимается приемной катушкой, усиливается и подается на анализатор. Необходимо отметить, что благодаря явлению самоиндукции длительность вторичного сигнала будет больше, чем длительность излученного передающей катушкой импульса. При этом параметры заднего фронта вторичного импульсного сигнала и используются для анализа с последующим формированием данных для блока индикации.

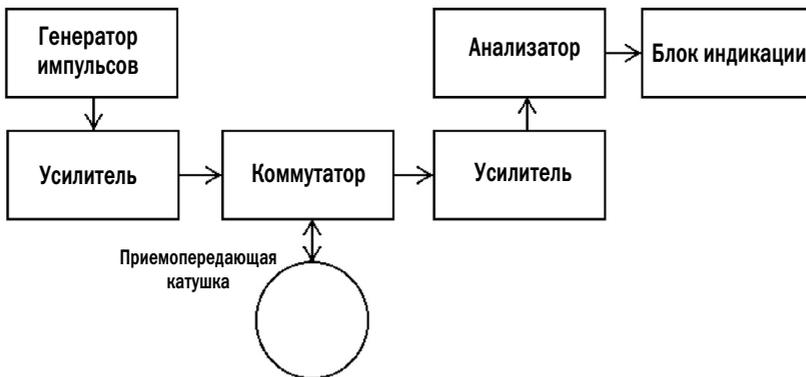
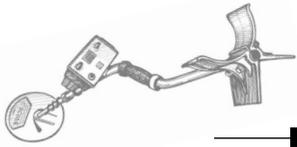


Рис. 1.7.
Упрощенная блок-схема импульсного металлоискателя с одной катушкой





КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИДЫ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЕЙ

Нетрудно предположить, что при наличии специального развязывающего устройства или коммутатора в импульсных металлоискателях вместо передающей и приемной катушек можно было бы использовать всего одну катушку, которая поочередно применялась бы для передачи и приема сигналов (рис. 1.7).

Основными достоинствами импульсных металлоискателей являются сравнительно высокая чувствительность, а также простота конструкции катушек. Однако схемотехнические решения отдельных блоков (например генератора импульсов, коммутатора, анализатора) пока отличаются значительной сложностью. Помимо всего прочего в таких приборах используются микропроцессоры с соответствующим программным обеспечением. Программирование микропроцессоров также требует соответствующего оборудования и навыков. Поэтому собрать подобную конструкцию смогут лишь подготовленные радиолюбители.





МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

2.1.	Простой транзисторный металлоискатель	24
2.2.	Простой металлоискатель на двух транзисторах	28
2.3.	Металлоискатель со стрелочным индикатором	32
2.4.	Металлоискатель со светодиодной индикацией	34
2.5.	Металлоискатель с повышенной чувствительностью	37
2.6.	Металлоискатель МИ-2	42
2.7.	Металлоискатель с кварцем	47
2.8.	Усовершенствованный металлоискатель с кварцем	50



Металлоискатели на транзисторах

Прежде чем приступать к постройке сложных металлоискателей, начинающие радиолюбители могут попробовать свои силы в повторении устройств, в которых используются транзисторы. Транзисторные металлодетекторы просты в настройке, надежны в работе и показывают приемлемые результаты в полевых условиях. В различных источниках можно найти множество оригинальных конструкций сравнительно простых металлоискателей, выполненных на транзисторах. Однако ограниченный объем данного издания не позволяет рассмотреть все заслуживающие внимания схемотехнические решения, используемые при создании таких устройств. К тому же при работе над этой книгой такая цель и не ставилась. Поэтому заинтересованным читателям автор рекомендует обратиться к специализированной литературе, а также к источникам в сему Internet.

2.1. Простой транзисторный металлоискатель

Схема, послужившая отправной точкой для построения простого транзисторного металлоискателя, попала автору на глаза всего за несколько месяцев до того, как была начата работа над этой книгой. Следует признать, что автор уже много лет не занимался постройкой транзисторных устройств, отдавая предпочтение аппаратуре на микросхемах. Однако в данном случае решил попробовать повторить и, по возможности, усовершенствовать эту конструкцию.

Результат вполне оправдал затраченное время. Конечно, от этого прибора не следует ожидать каких-либо чудес. Однако, несмотря на то, что схема предлагаемого металлоискателя и конструкция поисковой катушки очень просты, чувствительность данного устройства вполне достаточна для обнаружения небольших металлических предметов. К тому же при наличии некоторых навыков с большой степенью вероятности можно определить, из какого металла (магнитного или немагнитного) изготовлен обнаруженный предмет.

Принципиальная схема

Предлагаемая конструкция (рис. 2.1) представляет собой один из многочисленных вариантов металлодетекторов типа BFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений, возникающих при смешивании двух сигналов близких частот.



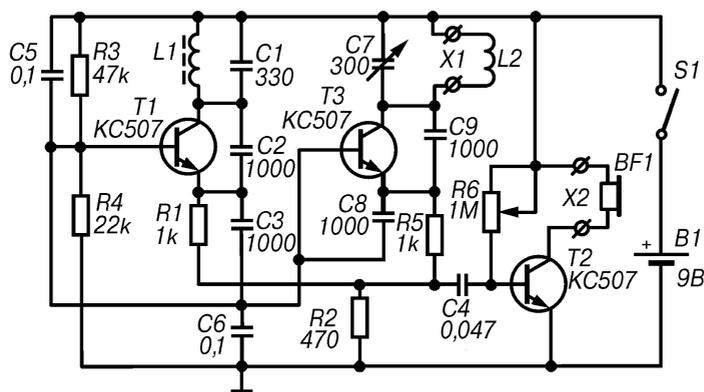


Рис. 2.1.
Принципиальная
схема простого
транзисторного
металлоискателя

В конструкции прибора использованы два простых LC-генератора, выполненные на транзисторах T1 и T3. Рабочая частота этих генераторов определяется параметрами контуров, включенных в коллекторные цепи соответствующих транзисторов. Контур первого генератора, который является опорным, образован конденсатором C1 емкостью 330 пФ и катушкой L1. В контуре второго, измерительного, генератора используются конденсатор переменной емкости C7 с максимальной емкостью ≈ 300 пФ и поисковая катушка L2.

Выходы генераторов через резисторы R1, R5 и конденсатор C4 подключены к базе транзистора T2, который усиливает сигнал частоты биений. С коллектора транзистора T2 усиленный сигнал подается на головные телефоны BF1. Уровень громкости этого сигнала регулируется с помощью переменного резистора R6.

Поскольку рабочие частоты генераторов находятся в диапазоне средних волн, их сигналы в телефонах не слышны. Когда удастся добиться точной настройки каждого генератора на одну и ту же частоту, звуковой сигнал в телефонах также будет отсутствовать. Если же с помощью конденсатора C7 настроить измерительный генератор на почти ту же частоту, что и опорный генератор, то в телефонах будет слышен сигнал частоты биений. При отсутствии в зоне действия поисковой катушки L2 металлических предметов рабочая частота измерительного генератора остается неизменной, поэтому неизменной будет и частота биений. В этом режиме возможные девиации частот могут быть обусловлены лишь нестабильной работой обоих генераторов.

При появлении в зоне действия поисковой катушки L2 металлического предмета резонансная частота контура L2C7 изменится. В результате изменятся рабочая частота измерительного генератора и, как следствие, частота сигнала биений. Именно эти изменения служат источником информации об обнаружении металлического предмета.



Питание простого транзисторного металлоискателя осуществляется от источника B1 напряжением 9 В.

Детали и конструкция

Все детали простого транзисторного металлоискателя, за исключением поисковой катушки L2, конденсатора C7, резистора R6, разъемов X1 и X2 и выключателя S1, расположены





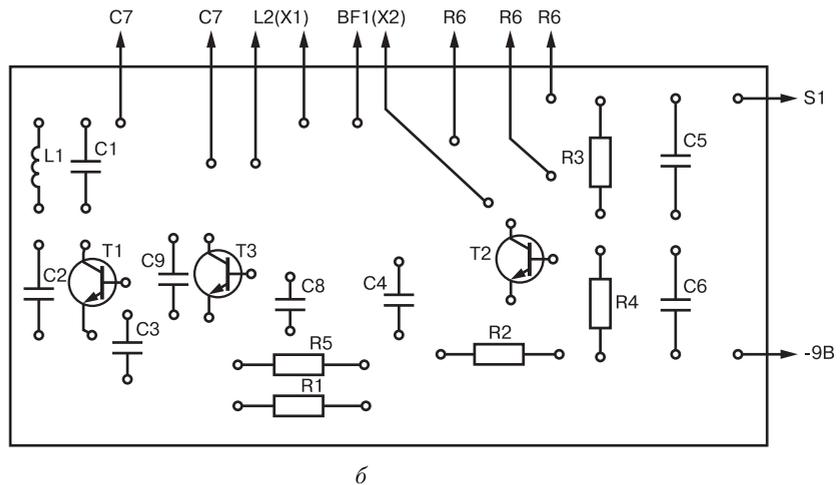
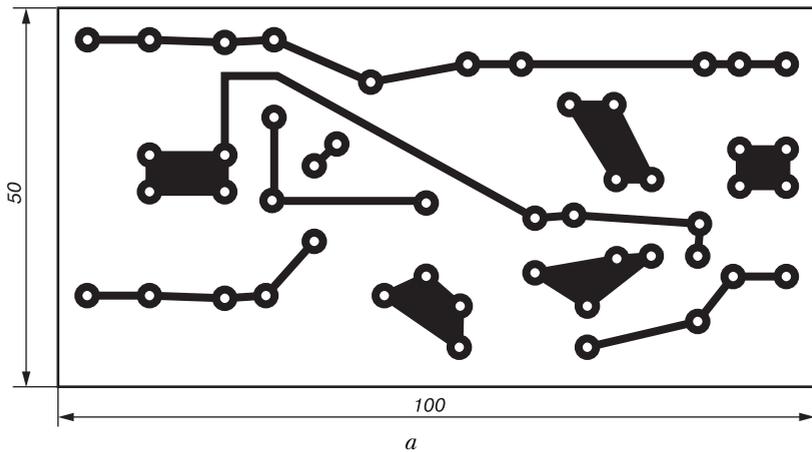
МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ НА ТРАНЗИСТОРАХ

на печатной плате размерами 100x50 мм (рис. 2.2), изготовленной из одностороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Естественно, рекомендуется использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате.

Катушка L1 опорного генератора намотана проводом ПЭЛ диаметром 0,1-0,2 мм на сердечнике диаметром 8 мм и содержит 100 витков. Катушку L1 можно намотать на ферритовом сердечнике или на бумажной трубке без сердечника. В качестве конденсатора C7 можно использовать любой конденсатор переменной емкости с воздушным диэлектриком с максимальной емкостью примерно 300 пФ, например конденсатор настройки от любого старого радиоприемника.

Рис. 2.2.
Печатная плата
(а) и расположе-
ние элементов (б)
простого транзи-
сторного метал-
лоискателя





Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются конденсатор настройки С7, регулятор громкости R6, выключатель S1, а также разъемы X1 и X2 для подключения соответственно поисковой катушки L2 и головных телефонов BF1.

Для изготовления поисковой катушки L2 (рис. 2.3) потребуется вырезать круг диаметром 100 мм из фанеры или другого материала (гетинакса, текстолита) толщиной 1,5-2,5 мм. Круг следует разбить на секторы с углом 40° и в этих местах сделать прорезы к центру на расстояние 20 мм от края. В прорези надо продеть провод диаметром 0,2-0,3 мм (например марки ПЭЛ) и виток к витку намотать 30 витков. К изготовленной таким образом поисковой катушке можно приделать удобную ручку. Подключение катушки L2 к печатной плате осуществляется через малогабаритный разъем.

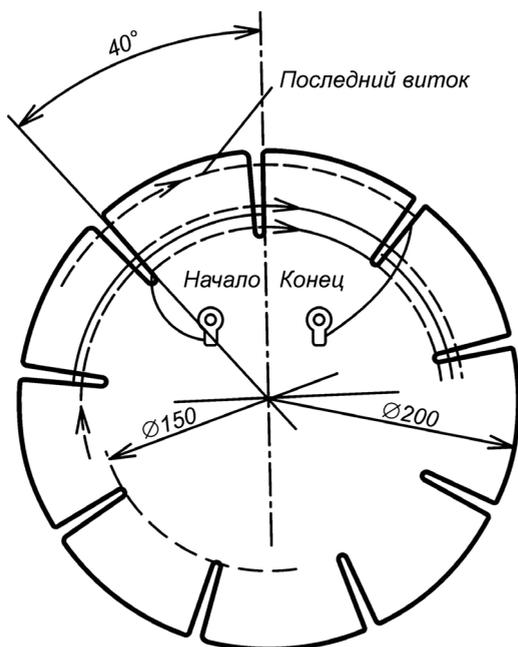


Рис. 2.3.
Конструкция поисковой катушки L2

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки 3336Л, соединенные последовательно.

Налаживание

При использовании исправных деталей правильно собранный металлоискатель начинает работать практически сразу. Настройку прибора следует проводить в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L2 на расстояние не менее 1,5 м.

Поскольку в данном разделе речь идет о простой конструкции, то в телефонах при первом включении будут слышны сигналы разных гармоник. Поэтому, настраивая прибор, следует выбрать наиболее сильный сигнал с помощью конденсатора С7 и отрегулировать его громкость регулятором R6. Выбор наиболее сильной гармоники можно осуществить на слух или с использованием осциллографа или частотомера.

На этом процесс настройки простого транзисторного металлоискателя заканчивается.





Порядок работы

При практическом использовании рассматриваемого металлоискателя следует конденсатором $C7$ провести дополнительную подстройку на сигнал наиболее сильной гармоники и отрегулировать его громкость с помощью регулятора $R6$.

Если теперь в зоне действия поисковой катушки $L2$ окажется какой-либо металлический предмет, то высота тона в телефонах изменится. При приближении к одним металлам частота сигнала биений будет увеличиваться, а при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

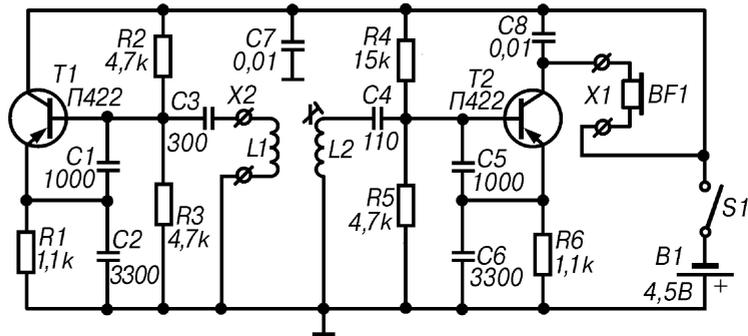
2.2. Простой металлоискатель на двух транзисторах

Без сомнения, многих начинающих радиолюбителей заинтересует конструкция простого металлоискателя, основой для которого послужила схема, неоднократно публиковавшаяся в отечественных и зарубежных специализированных изданиях в середине 70-х годов прошлого столетия. С помощью этого металлодетектора, выполненного всего на двух транзисторах, можно обнаруживать металлические предметы, удаленные от поисковой катушки на несколько десятков сантиметров.

Принципиальная схема

Данная конструкция представляет собой один из вариантов металлодетекторов типа FM (Frequency Meter), то есть является устройством, в основу которого положен принцип измерения девиации частоты опорного генератора под влиянием металлических предметов, попавших в зону действия поисковой катушки. При этом оценка изменения частоты осуществляется на слух (рис. 2.4).

Рис. 2.4.
Принципиальная
схема простого
металлоискателя на
двух транзисторах



Основу схемы прибора составляют генератор высокой частоты и приемник, который регистрирует изменения частоты генератора при приближении к металлическим предметам.

Генератор высокой частоты собран на транзисторе $T1$ по схеме емкостной трехточки. Колебательный контур опорного генератора состоит из цепочки последовательно включен-





ных конденсаторов С1, С2 и С3, к которым подключена катушка L1. Рабочая частота ВЧ-генератора определяется индуктивностью этой катушки, которая одновременно является поисковой катушкой.

Одной из особенностей данного устройства можно считать то, что в качестве анализатора в нем используется приемник гетеродинного типа, который выполнен всего на одном транзисторе. При этом каскад на транзисторе Т2 совмещает функции гетеродина и детектора. Гетеродин собран по схеме емкостной трехточки. Достоинством такой схемы является возможность использования катушки индуктивности без отводов, что хоть и незначительно, но упрощает конструкцию. Колебательный контур гетеродина содержит катушку индуктивности L2 и емкость, составленную из последовательно соединенных конденсаторов С4, С5 и С6. Частоту гетеродина можно изменять, вращая подстроечный сердечник катушки L2.

С коллектора транзистора Т2 протектированный сигнал подается на головные телефоны ВФ1.

Если вблизи катушки L1 окажется металлический предмет, то ее индуктивность изменится. Это приведет к изменению частоты опорного генератора, что будет сразу зарегистрировано приемником металлоискателя. В результате тональность сигнала в телефонах ВФ1 изменится.

Детали и конструкция

Все детали простого металлоискателя на двух транзисторах за исключением поисковой катушки L1, катушки гетеродина L2, разъема Х1 и выключателя S1 расположены на печатной плате размерами 70x40 мм (рис. 2.5), изготовленной из одностороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Желательно использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате. Как видно из принципиальной схемы, в этом металлодетекторе применяются устаревшие ВЧ-транзисторы типа П422, П401 или П402. Вместо них можно использовать любые современные ВЧ-транзисторы проводимости р-п-р, предназначенные для работы во входных каскадах радиоприемников.

Поисковая катушка L1, используемая в опорном генераторе, представляет собой прямоугольную рамку размерами 175x230 мм, на которую намотаны 32 витка провода ПЭВ-2 диаметром 0,35 мм или, например, ПЭЛШО диаметром 0,37 мм.

В двух бумажных цилиндрических каркасах размещены отрезки ферритового стержня типа 400НН или 600НН диаметром 7 мм. Длина первого из них, закрепленного постоянно, составляет около 20-22 мм. Второй стержень подвижен и используется для регулировки индуктивности катушки. Его длина составляет 35-40 мм. Каркасы стержней обернуты бумажной лентой, на которую наматываются 55 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,2 мм. Также можно использовать провод типа ПЭВ-1 или ПЭВ-2.

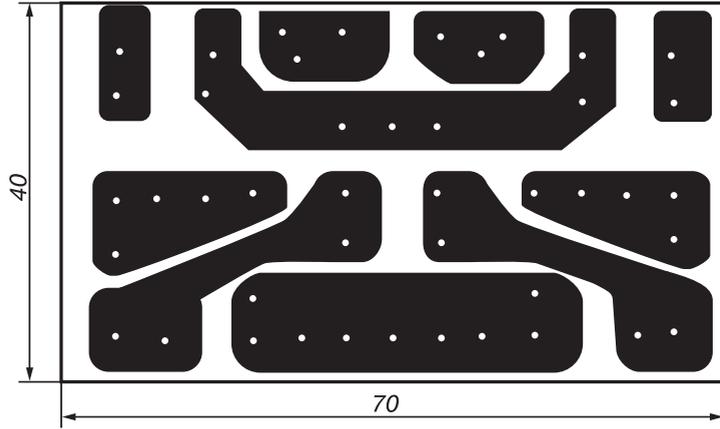
Катушку L2 (рис. 2.6) следует установить на расстоянии 5-7 мм от плоскости расположения витков катушки L1.

В качестве источника звуковых сигналов можно использовать головные телефоны с сопротивлением 800-1200 Ом. Подойдут и широко известные телефоны ТОН-1 или ТОН-2, однако при их применении оба капсюля нужно включить не последовательно, а параллельно, то есть подключить плюс одного капсюля к плюсу другого, а минус — к минусу. При этом общее сопротивление телефонов должно составить примерно 1000 Ом.

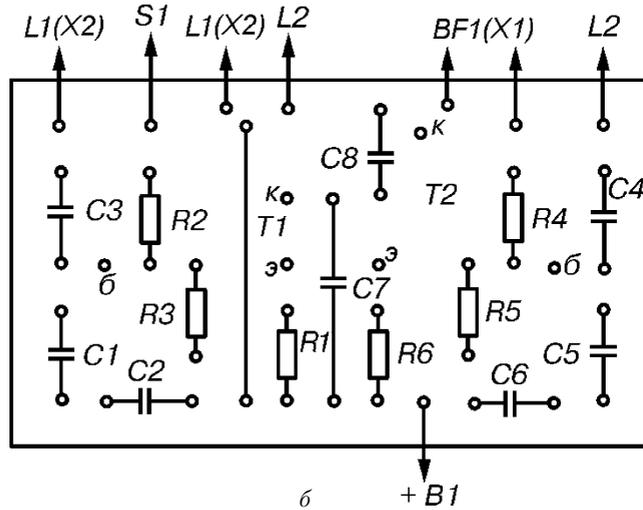




Рис. 2.5.
Печатная плата (а)
и расположение
элементов (б)
простого металло-
искателя на двух
транзисторах



а



б

Питание простого металлоискателя на двух транзисторах осуществляется от источника В1 напряжением 4,5 В. В качестве такого источника можно использовать, например, так называемую квадратную батарейку типа 3336Л или три элемента типа 316, 343, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются выключатель S1 и разъем X1 для подключения головных телефонов BF1.

Катушки L1 и L2 соединяются с платой гибким многожильным изолированным проводом.

Налаживание

Настройку металлоискателя следует проводить в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L1 на расстояние не менее 1,5 м.



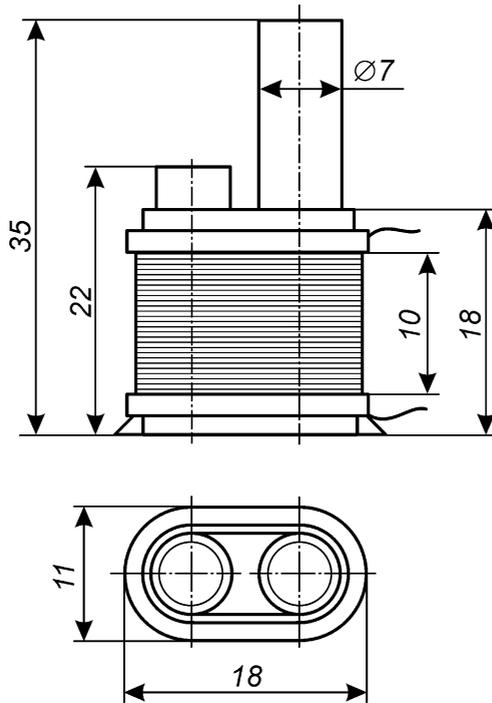


Рис. 2.6.
Конструкция катушки L2

После включения питания следует проверить напряжения на эмиттерах транзисторов. На эмиттере транзистора T1 должно быть напряжение -2,1 В, а на эмиттере транзистора T2 — около -1 В.

Далее, медленно перемещая подстроечный сердечник катушки L2, необходимо добиться появления в телефонах громкого чистого сигнала низкой частоты. Если первоначально генератор настроен, например, на частоту 465 кГц, то в телефонах будет прослушиваться сигнал частотой около 500 Гц.

При приближении катушки L1 к металлическому предмету, в качестве которого в процессе настройки может использоваться, например, консервная банка, тон звучания низкочастотного сигнала в головных телефонах будет изменяться. Начало изменения тона сигнала необходимо хотя бы приблизительно зафиксировать. После этого, перемещая сердечник катушки L2 для более точной подстройки частоты гетеродина, следует добиться наибольшей чувствительности устройства.

На этом процесс настройки простого металлодетектора на двух транзисторах заканчивается.

Порядок работы

Проведение поисковых работ с помощью данного прибора не имеет каких-либо особенностей. Если в зоне действия поисковой катушки L1 окажется металлический предмет, то высота тона в головных телефонах изменится. При приближении к одним металлам частота сигнала будет увеличиваться, а при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, цветного или так называемого черного, изготовлен обнаруженный предмет.





2.3. Металлоискатель со стрелочным индикатором



Особенностью предлагаемого металлоискателя является интересное схемотехническое решение анализатора и индикатора. При этом в качестве индикатора используется стрелочный прибор.

Следует отметить, что рассматриваемый металлодетектор обладает сравнительно высокой чувствительностью. Помимо этого по направлению отклонения стрелки индикатора можно определить и вид металла (цветной или черный), из которого изготовлен обнаруженный предмет.

Принципиальная схема

Металлодетектор (рис. 2.7) состоит из двух генераторов, схемы индикации и стабилизатора питающего напряжения.

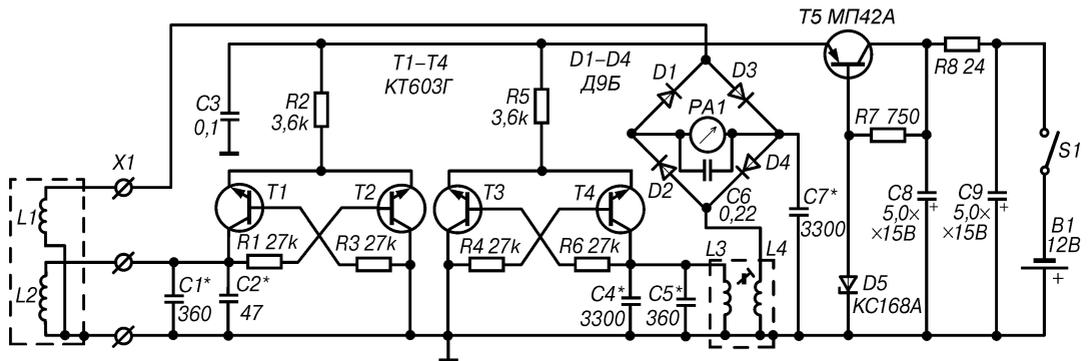


Рис. 2.7.
Принципиальная
схема металлоиска-
теля со стрелоч-
ным индикатором

На транзисторах T1 и T2 собран измерительный генератор, частота колебаний которого зависит от параметров контура, образованного катушкой L2, а также параллельно включенными конденсаторами C1 и C2. Опорный генератор собран на транзисторах T3 и T4 по аналогичной схеме. Частота колебаний этого генератора определяется параметрами контура, выполненного на элементах L3, C4 и C5.

Схема, анализирующая появление девиации (отклонения) частоты сигнала измерительного генератора по сравнению с частотой сигнала опорного генератора, содержит измерительную цепь, которая состоит из стрелочного индикатора PA1 с нулевой отметкой посередине шкалы, конденсатора C6 и диодов D1-D4. В этой же цепи оценивается знак девиации частоты. Колебания опорного генератора подаются в измерительную цепь через катушку связи L4, а сигнал от измерительного генератора — через катушку связи L1. При этом вся цепь сбалансирована так, что при совпадении частот колебаний обоих генераторов стрелка индикатора PA1 будет находиться на нулевом делении шкалы прибора.

При появлении в зоне действия поисковой катушки L2 металлического предмета резонансная частота контура L2C1C2 изменится. Это приведет к изменению рабочей частоты измерительного генератора и, как следствие, к отклонению стрелки индикатора PA1. Отклонение стрелки и служит источником информации об обнаружении металлического предмета. Угол отклонения стрелки индикатора PA1 зависит от габаритов предмета и расстояния от него до измерительной катушки.





Когда вблизи измерительной катушки L2 окажется предмет из черного металла, рабочая частота измерительного генератора, выполненного на транзисторах T1 и T2, уменьшится, и стрелка индикатора отклонится в одну сторону. Если же предмет изготовлен из цветного металла (например из латуни), частота генератора увеличится, при этом стрелка индикатора отклонится в другую сторону.

Направление отклонения стрелки зависит от полярности подключения индикатора РА1, на шкалу которого после проведения калибровки можно нанести соответствующие надписи.



Питающее напряжение 12 В подается на измерительный и опорный генераторы от источника В1 через стабилизатор напряжения, собранный на стабилитроне D5 и транзисторе T5.

Детали и конструкция

Для изготовления рассматриваемого металлоискателя можно использовать любую макетную плату. Поэтому к используемым деталям не предъявляются какие-либо ограничения, связанные с габаритными размерами. Монтаж может быть как навесной, так и печатный.

Резисторы могут быть, например, типа МЛТ-0,5, конденсаторы С1, С2, С4, С5, С7 — типа КМ или КЛС. В качестве емкостей С3 и С6 можно использовать любые металлобумажные конденсаторы, например типа МБМ или БМТ. Конденсаторы С8, С9 можно заменить на любые электролитические, например типа К50-6, транзисторы КТ603Г — другими транзисторами этой серии или транзисторами серии КТ315 с коэффициентом передачи тока не менее 60, транзистор МП42А — любым из серий МП39 — МП42 или КТ361, диоды Д9Б — другими диодами этой серии. В качестве индикатора РА1 рекомендуется применить стрелочный прибор типа М24 с током полного отклонения стрелки 100 мкА и нулем посередине шкалы.

Катушки L1 и L2 размещены на каркасе (рис. 2.8), изготовленном из стеклотекстолита или любого другого изоляционного материала.

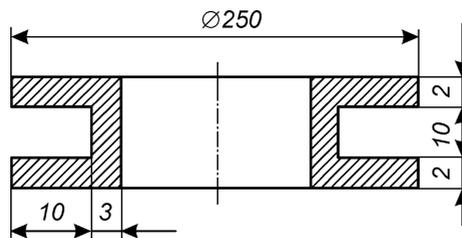


Рис. 2.8.
Конструкция каркаса катушек L1 и L2

Катушка L1 содержит 20 витков, а L2 — 60 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,31 мм, намотанных виток к витку. Катушки защищены электростатическим экраном, который представляет собой незамкнутую ленту из латуни, намотанную на поверхность каркаса. Щель между началом и концом намотки ленты должна составлять не менее 10 мм.

При изготовлении катушек особо надо следить за тем, чтобы не произошло замыкания концов ленты, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток.



Катушка L3 содержит 160 витков, а L4 — 50 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,12 мм, намотанных внавал на каркас диаметром 7,5 мм. Внутри каркаса устанавливается подстроечный сердечник диаметром 2,5 мм и длиной 12 мм, выполненный из феррита 600НН. Каркас с катушками L3 и L4 помещается в электростатический экран с отверстием напротив подстроечного сердечника. Экран должен быть заземлен.





Плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются индикатор PA1, выключатель S1, а также разъем X1 для подключения катушек L1 и L2. Эти элементы соединяются с платой гибким многожильным проводом.

Каркас с катушками L1 и L2 размещается на конце любой удобной ручки. При этом выводы катушек соединяются с ответной частью разъема X1 гибким многожильным экранированным проводом.

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, три батарейки 3336Л, соединенные последовательно, или аккумуляторную батарею.

Налаживание

Перед настройкой прибор следует расположить так, чтобы поисковая катушка L2 находилась на расстоянии не менее 1,5 м от металлических предметов.

К катушке L1 необходимо подключить осциллограф и, подбирая величины емкостей конденсаторов C1, C2, установить частоту измерительного генератора, выполненного на транзисторах T1 и T2, равной 100 Гц. Форма колебаний корректируется подбором сопротивлений резисторов R1-R3. Аналогично настраивается опорный генератор, при этом осциллограф подключается к катушке L4, а форма колебаний корректируется подбором сопротивлений резисторов R4-R6. Перед началом настройки подстроечный сердечник катушки L4 следует установить в среднее положение.

Далее необходимо установить на катушках L1 и L4 равные амплитуды колебаний, которые должны находиться в пределах 0,8-1 В. При необходимости амплитуду сигналов можно изменить подбором числа витков катушек L1 и L4. После этого, вращая подстроечный сердечник катушки L3, следует установить стрелку индикатора PA1 на нулевую отметку шкалы.

Порядок работы

Особенностью данного металлоискателя является то, что при проведении поисковых работ выполнять какие-либо дополнительные настройки и регулировки не требуется.

При приближении к измерительной катушке L2 предмета из черного металла рабочая частота измерительного генератора уменьшается. При этом стрелка индикатора PA1 отклоняется в какую-либо сторону. Если же предмет изготовлен из цветного металла, например из латуни, частота колебаний измерительного генератора увеличивается. При этом стрелка индикатора отклоняется в противоположную сторону. Таким образом можно определить не только наличие металлического предмета в зоне действия поисковой катушки, но и оценить, из какого металла, цветного или черного, он изготовлен.

С помощью рассмотренного металлодетектора металлические предметы типа консервных банок можно обнаруживать на глубине до 20-30 см.

2.4. Металлоискатель со светодиодной индикацией

Много лет назад в журнале «Funkamateur» (1980, №1), издававшемся в существовавшей тогда ГДР, была опубликована схема оригинального прибора, предназначенного для обнаружения в стенах скрытой электропроводки или водопроводных труб. После незначительных изменений, внесенных в схему и конструкцию этого устройства, его вполне можно использовать в качестве простого металлоискателя со светодиодной индикацией.





Следует отметить, что данный прибор, к сожалению, не позволяет определять примерные габариты и глубину залегания обнаруженного предмета, а также вид металла, из которого он изготовлен.

Принципиальная схема

Предлагаемая вниманию читателей конструкция представляет собой один из вариантов металлодетекторов типа FM (Frequency Meter), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа девиации частоты опорного генератора под влиянием металлических предметов, попавших в зону действия поисковой катушки. При этом решение о наличии металлического предмета принимается по срыву колебаний ВЧ-генератора, регистрируемому специальным приемником и фиксируемому визуально. Главными отличительными особенностями данного прибора можно считать интересное схемотехническое решение анализатора, а также использование светодиода в качестве индикатора (рис. 2.9).

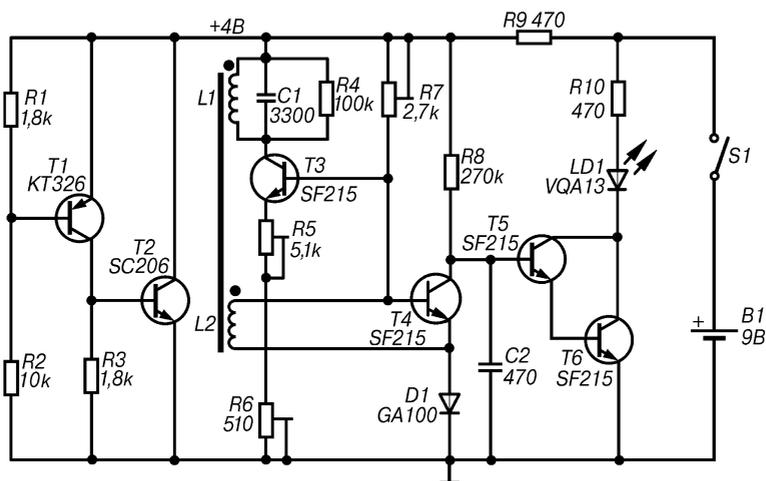


Рис. 2.9.
Принципиальная схема металлоискателя со светодиодной индикацией

Основу схемы предлагаемого металлодетектора составляют ВЧ-генератор, детектор ВЧ колебаний, усилитель постоянного тока с индикатором на светодиоде и стабилизатор питающего напряжения. Генератор высокой частоты выполнен на транзисторе Т3, в коллекторную цепь которого включен колебательный контур, состоящий из катушки L1 и конденсатора C1, зашунтированных резистором R4. Рабочая частота ВЧ-генератора составляет около 100 кГц и определяется индуктивностью катушки L1, которая одновременно является поисковой катушкой, и емкостью конденсатора C1.

При отсутствии в зоне действия катушки L1 металлических предметов ВЧ-сигнал, возбуждаемый в катушке связи L2, детектируется специальным детектором, в качестве которого используется эмиттерный переход транзистора T4. При этом транзистор T4 открывается. В результате, транзисторы T5 и T6, на которых собран усилитель постоянного тока, будут закрыты, а светодиод LD1 не светится.

После того как вблизи поисковой катушки L1 окажется металлический предмет, ее индуктивность изменится. Это приведет к срыву колебаний ВЧ-генератора, что будет сразу зарегистри-





стрировано транзистором Т4, который закрывается. При этом транзисторы Т5 и Т6 откроются, а светодиод LD1 начнет светиться.

Питание металлоискателя со светодиодной индикацией осуществляется от источника В1 напряжением 9 В. При этом питающее напряжение стабилизируется специальной схемой, выполненной на транзисторах Т1 и Т2, которая представляет собой параллельный стабилизатор напряжения.

Детали и конструкция

Как и в предыдущей конструкции, для изготовления рассматриваемого металлоискателя можно использовать любую макетную плату. Поэтому к используемым деталям не предъявляются какие-либо ограничения, связанные с габаритными размерами. Монтаж может быть как навесной, так и печатный.

Катушки L1 и L2 наматываются виток к витку на круглом ферритовом сердечнике от магнитной антенны транзисторного радиоприемника. При этом катушка L1 содержит 120 витков, а катушка L2 — 45 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,3 мм. Необходимо отметить, что чувствительность металлоискателя зависит от длины применяемого ферритового стержня. Чем длиннее ферритовый сердечник, тем выше чувствительность устройства.

Вместо транзисторов типа SF215, указанных на схеме (рис. 2.9), в данной конструкции можно использовать практически любые отечественные кремниевые маломощные транзисторы с коэффициентом усиления не менее 100. Вместо диода типа GA100 рекомендуется применять любой германиевый диод серий Д2 или Д9, а светодиод типа VQA13 без проблем можно заменить, например, светодиодом AL102.



Схему предлагаемого металлодетектора можно значительно упростить, если вместо параллельного стабилизатора напряжения, выполненного на элементах Т1, Т2 и R1—R3, установить стабилитрон КС139 или любой интегральный стабилизатор на напряжение 4 В.

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки 3336Л, соединенные последовательно.

Плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса размещаются светодиод LD1 и выключатель питания S1. Эти элементы соединяются с платой гибким многожильным проводом. Корпус прибора можно расположить на конце любой удобной ручки.

К нижней части корпуса с внутренней стороны прикрепляется ферритовый стержень с установленными на нем поисковой катушкой L1 и катушкой связи L2. При этом провода, идущие от катушек к плате, должны быть как можно короче. Ферритовый стержень с катушками можно расположить и в специальном чехле, изготовленном из изоляционного материала. В качестве такого чехла автор много лет назад использовал пластмассовый футляр для зубной щетки, который был приклеен с внешней стороны к нижней части корпуса металлоискателя.

Налаживание

Главным условием, обеспечивающим качественную настройку данного прибора, является отсутствие крупногабаритных металлических предметов на расстоянии не менее одного метра от поисковой катушки L1.

Налаживание металлодетектора следует начать с установки такого режима работы ВЧ-генератора, при котором возбуждаемые колебания были бы на грани срыва. Для этого сначала подстройкой резисторов R5 и R7 следует добиться возбуждения колебаний ВЧ, при которых светоди-





од начнет светиться. Предварительно движок подстроечного резистора R6 надо установить в среднее положение. Затем, медленно вращая движок резистора R6, необходимо добиться, чтобы светодиод погас.

Если теперь к ферритовому стержню приблизить металлический предмет, светодиод вспыхнет вновь. Регулировку желательно повторить несколько раз, стараясь найти такие положения движков подстроечных резисторов R5 и R7, при которых достигается максимальная чувствительность прибора.

Порядок работы

Порядок работы с рассматриваемым устройством прост и не нуждается в дополнительных пояснениях. При приближении поисковой катушки L1 к металлическому предмету светодиод должен начать светиться.

В соответствии с данными, приведенными в первоисточнике, этот металлоискатель должен обладать следующей чувствительностью: крупные металлические предметы, например батареи центрального отопления, можно обнаружить на расстоянии 200 мм, мелкие металлические предметы (ножницы) — на расстоянии 50 мм, а медный силовой кабель — на расстоянии 40 мм. Помимо этого на маленькую отвертку прибор должен начинать реагировать с расстояния 30 мм, на маленький гвоздь, вбитый в стену, — с расстояния 20 мм, а на медный телефонный провод — с расстояния 10 мм.

Необходимо отметить, что параметры образца, изготовленного по приведенной схеме, были меньше указанных примерно на 25-30 %.



2.5. Металлоискатель с повышенной чувствительностью

В основу работы металлоискателя, схема и конструкция которого рассмотрены в данном разделе, положен принцип анализа изменений биений колебаний двух генераторов, частота одного из которых стабильна, а частота второго изменяется при появлении в зоне действия прибора металлического предмета.

При работе над данным устройством была сделана попытка создать металлодетектор, свободный от ряда недостатков, присущих другим аналогичным конструкциям.

Несмотря на то что схема этого прибора была разработана более 20 лет назад, к его достоинствам следует отнести сравнительно высокую чувствительность, стабильность в работе, а также возможность отличать цветные и черные металлы. Исползованные схемотехнические решения обеспечили повышенную стабильность рабочих частот генераторов, что позволило оценивать частоты биений в диапазоне от 1 до 10 Гц. Как следствие, повысилась чувствительность прибора, а также снизился потребляемый им ток.

Принципиальная схема

Как уже указывалось, предлагаемая конструкция представляет собой один из многочисленных вариантов металлодетекторов типа BFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух частот (рис. 2.10).

Основу прибора составляют измерительный и опорный генераторы, детектор ВЧ-колебаний, предварительный усилитель, первый усилитель-ограничитель, дифференцирующая цепь, второй усилитель-ограничитель и усилитель низкой частоты.



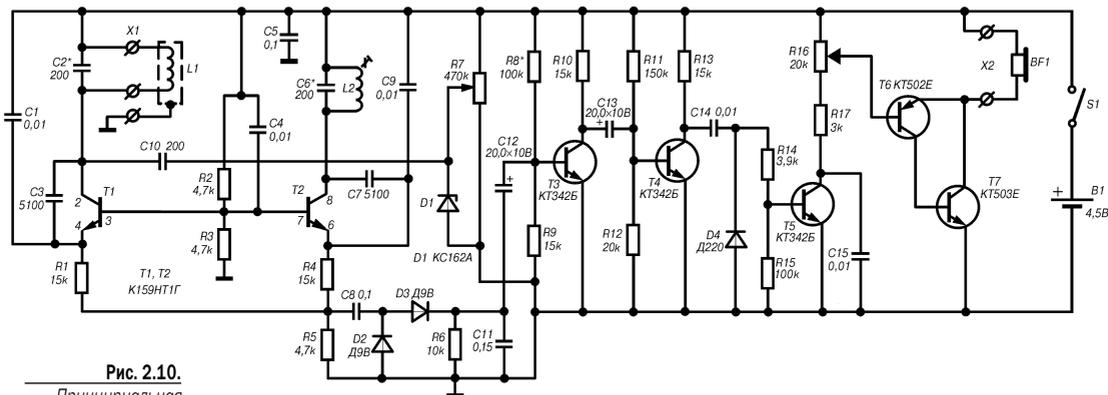


Рис. 2.10.
Принципиальная
схема металлоискателя с повышенной
чувствительностью

В качестве измерительного и опорного генераторов использованы два простых LC-генератора, выполненные на транзисторах T1 и T2. Эти транзисторы входят в состав микросхемы К159НТ1Г, которая представляет собой пару идентичных по параметрам транзисторов, размещенных в одном корпусе. Использование транзисторной сборки позволяет существенно повысить температурную стабильность частот генераторов.

Каждый генератор собран по схеме емкостной трехточки, при этом транзисторы T1 и T2 включены по схеме с общей базой.

Возбуждение колебаний обеспечивается благодаря введению положительной обратной связи между коллектором и эмиттером каждого транзистора. Рабочая частота генераторов определяется параметрами частотозадающих цепей, включенных между коллекторами и эмиттерами транзисторов T1 и T2. При этом частотозадающими элементами первого генератора, который выполняет функции измерительного генератора, являются поисковая катушка L1 и конденсаторы C1, C2 и C3. Рабочая частота второго, опорного, генератора определяется параметрами катушки индуктивности L2, а также конденсаторов C6, C7 и C9. При этом оба генератора настроены на рабочую частоту 40 кГц. С помощью резисторов R1-R4 обеспечивается установка режимов работы транзисторов T1 и T2 по постоянному току.

В процессе настройки прибора изменением емкости конденсатора C6 осуществляется грубая настройка опорного генератора на выбранную гармонику частоты биений. При этом емкость конденсатора C6 может изменяться в пределах от 100 до 330 пФ. Точная настройка частоты биений выполняется переменным резистором R7, с помощью которого изменяется смещение на стабилитроне D1, который в данной схеме выступает в роли варикапа.

При приближении поисковой катушки L1 колебательного контура перестраиваемого генератора к металлическому предмету ее индуктивность изменяется, что вызывает изменение рабочей частоты генератора. При этом, если вблизи катушки L1 находится предмет из черного металла (ферромагнетика), ее индуктивность увеличивается, что приводит к уменьшению частоты генератора. Цветной же металл уменьшает индуктивность катушки L1, а рабочая частота генератора возрастает.

ВЧ-сигнал, сформированный в результате смешивания сигналов измерительного и опорного генераторов, выделяется на нагрузочном резисторе R5. При этом амплитуда сигнала изменяется с частотой биений, которая равна разности частот ВЧ-сигналов.





Низкочастотная огибающая ВЧ-сигнала детектируется специальным детектором, выполненным на диодах D2 и D3 по схеме удвоения напряжения. При этом конденсатор C11 обеспечивает фильтрацию высокочастотной составляющей сигнала.

С нагрузки детектора, в роли которой выступает резистор R6, низкочастотный сигнал биений через конденсатор C12 подается на предварительный усилитель, выполненный на транзисторе T3.

С коллектора транзистора T3 усиленный сигнал через конденсатор C13 поступает на первый усилитель-ограничитель, выполненный на транзисторе T4 и обеспечивающий формирование прямоугольных импульсов. С помощью делителя, составленного резисторами R11 и R12, на базу транзистора T4 подается такое напряжение смещения, при котором транзистор находится на пороге открывания.

Поступающий на базу транзистора T4 синусоидальный сигнал ограничивается с двух сторон. В результате на нагрузке каскада, роль которой исполняет резистор R13, формируются прямоугольные импульсы, которые далее дифференцируются цепью C14, R14, R15 и преобразуются в остроконечные пики. При этом на месте фронта каждого импульса формируется пик положительной полярности, а на месте спада — пик отрицательной полярности. Следует отметить, что длительность этих пиков не зависит от частоты следования прямоугольных импульсов и их длительности.

Положительные пики поступают на базу транзистора T5, а отрицательные срезаются диодом D4. Транзистор T5, как и транзистор T4, работает в ключевом режиме и ограничивает входной сигнал так, что на коллекторной нагрузке, образуемой резисторами R16 и R17, формируются короткие прямоугольные импульсы фиксированной длительности. Конденсатор C15 фильтрует выходной сигнал и улучшает тембр звучания сигнала в головных телефонах BF1.

С резистора R16, который является регулятором громкости, сигнал поступает на усилительный каскад, выполненный на транзисторах T6 и T7, включенных по схеме так называемого составного транзистора. При таком включении формируется эквивалент транзистору проводимости p-n-p повышенной мощности с большим коэффициентом передачи тока. Затем усиленный сигнал поступает на головные телефоны BF1.

Примененный в данной конструкции способ формирования импульсного сигнала из синусоидального позволяет снизить потребляемую усилителем мощность, особенно в выходном каскаде, поскольку в паузах между импульсами транзисторы T5, T6 и T7 закрыты.

Питание металлодетектора осуществляется от источника В1 напряжением 4,5 В, при этом потребляемый ток не превышает 2 мА.

Детали и конструкция

К используемым деталям при сборке металлоискателя с повышенной чувствительностью не предъявляются какие-либо особые требования. Единственное ограничение связано с габаритными размерами, поскольку большая часть деталей данного прибора смонтирована на печатной плате размерами 70x110 мм, выполненной из одностороннего фольгированного гетинакса или стеклотекстолита. Печатная плата рассчитана на использование постоянных резисторов МЛТ-0,125, конденсаторов КСО, ПМ, МБМ, К50-6 или им аналогичных (рис. 2.11).

При повторении данной конструкции в качестве транзисторной сборки (транзисторы T1 и T2) можно использовать микросхему К159НТ1 с любым буквенным индексом. Однако в настоящее время ее не всегда можно найти. Поэтому при необходимости вместо транзисторной сборки рекомендуется использовать два транзистора типа КТЗ15Г с одинаковыми или возможно близкими параметрами (статическим коэффициентом передачи тока и начальным током коллектора).



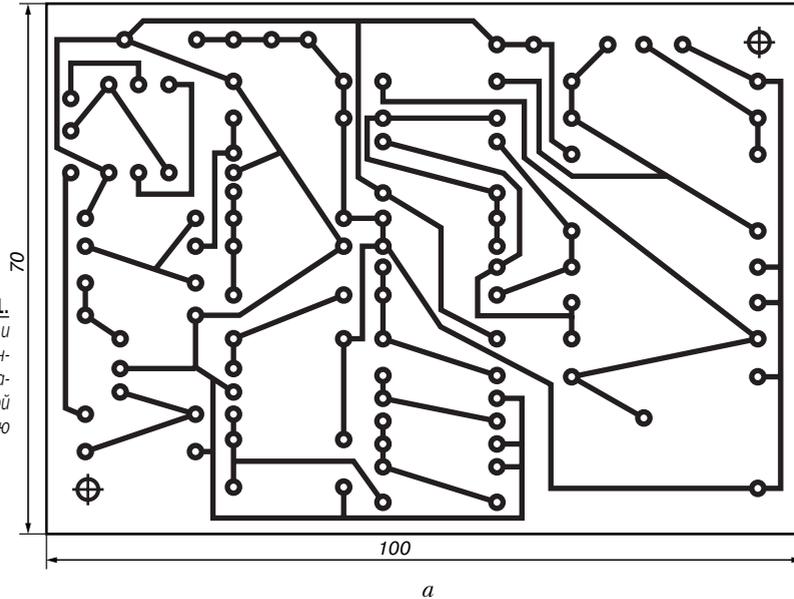
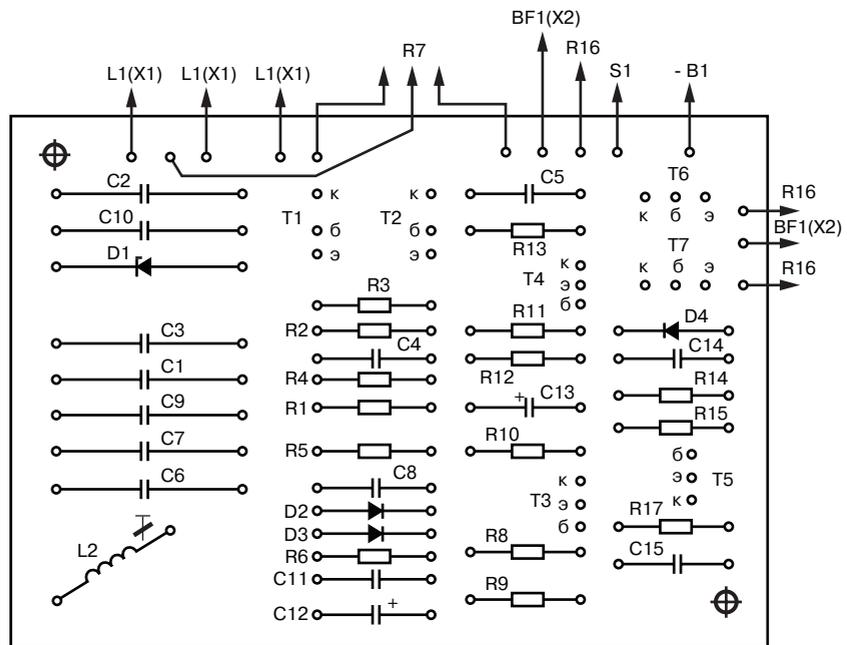


Рис. 2.11.
Печатная плата (а) и
расположение элемен-
тов (б) металлоиска-
теля с повышенной
чувствительностью



б

В усилительных каскадах (транзисторы Т3, Т4 и Т5) вместо транзисторов типа КТ342Б можно установить транзисторы типа КТ315Г, КТ503Е или КТ3102А — КТ3102Е. Транзистор типа КТ502Е (Т6) вполне заменим на КТ361, а транзистор типа К503Е (Т7) — на КТ315 с любыми





буквенными индексами. Но в этом случае головные телефоны должны быть высокоомными (типа ТОН-2 или ТЭГ-1). При использовании низкоомных телефонов транзистор Т7 должен быть более мощным, например типа КТ603Б или КТ608Б.

В качестве стабилитрона D1 также можно использовать стабилитроны типа Д808-Д813 или КС156А. Диоды D2 и D3 могут быть любыми из серий Д1, Д9 или Д10.

Катушка L2 содержит 250 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,1 мм, намотанных на магнитопроводе СБ-23-11а. При ее изготовлении можно использовать и другие сердечники. Главное — чтобы индуктивность готовой катушки составила 4 мГ.

Измерительная катушка L1 содержит 100 витков провода ПЭВ-1 диаметром 0,3 мм и выполнена в виде тора диаметром 160 мм. Эту катушку проще изготовить на жестком каркасе, однако можно обойтись и без него. В этом случае в качестве временного каркаса можно использовать любой подходящий по размерам круглый предмет, например банку. Витки катушки наматываются внавал, после чего снимаются с каркаса и экранируются электростатическим экраном, который представляет собой незамкнутую ленту из алюминиевой фольги, намотанную поверх жгута витков. Щель между началом и концом намотки ленты (зазор между концами экрана) должна составлять не менее 10 мм.

При изготовлении катушки L1 нужно внимательно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей ленты, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток. Для повышения механической прочности катушку можно пропитать эпоксидным клеем.



К выводам катушки следует подпаять проводники двужильного экранированного кабеля длиной около метра, на другом конце которого устанавливается разъем типа СШ-3 или любой другой подходящий малогабаритный разъем. Оплетку кабеля необходимо соединить с экраном катушки. В рабочем положении разъем катушки подключается к ответной части разъема, расположенной на корпусе прибора.

Питание металлоискателя повышенной чувствительности осуществляется от источника В1 напряжением 4,5 В. В качестве такого источника можно использовать, например, так называемую квадратную батарейку типа 3336Л или три элемента типа 316, 343, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменные резисторы R7 и R16, разъем X1 для подключения поисковой катушки L1, выключатель S1, а также разъем X2 для подключения головных телефонов BF1.

Налаживание

Как и при регулировке других металлоискателей, настройку данного прибора нужно проводить в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L1 на расстояние не менее 1,5 м.

Непосредственное налаживание металлодетектора следует начать с выбора нужной частоты биений. Для этого рекомендуется воспользоваться осциллографом или цифровым частотомером.

При работе с осциллографом его пробник необходимо подключить к точке соединения резисторов R1, R4, R5 и конденсатора С8, то есть к входу детектора. Осциллограмма в этой точке





напоминает осциллограмму модулированного ВЧ-сигнала. Далее, подстраивая катушку L2 и подбирая емкости конденсаторов C2 и C6, нужно добиться того, чтобы частота модуляции (частота биений) была бы равна примерно 10 Гц.

При использовании цифрового частотомера для настройки металлоискателя частотомер следует подключить сначала к коллекторной цепи транзистора T1, а затем — к коллектору транзистора T2. Подбирая параметры указанных ранее элементов (индуктивность катушки L2, емкости конденсаторов C2 и C6), необходимо добиться того, чтобы разность частот сигналов на коллекторах транзисторов T1 и T2 составляла примерно 10 Гц.

Далее подбором резистора R8 устанавливается максимальный коэффициент усиления каскада, выполненного на транзисторе T3.

При отсутствии осциллографа и частотомера подбор нужной частоты биений можно выполнить и без них. При этом необходимо сначала установить в среднее положение движок резистора R7, а затем, вращая подстроечный сердечник катушки L2, добиться появления в телефонах щелчков с частотой примерно 1-5 Гц. Если установить нужную частоту не удастся, следует подобрать емкость конденсатора C6. Чтобы уменьшить влияние фона грунта, окончательный подбор частоты биений следует осуществлять при приближении поисковой катушки L1 к земле.

На этом процесс настройки металлоискателя с повышенной чувствительностью заканчивается.

Порядок работы

При практическом использовании данного металлодетектора следует переменным резистором R7 поддерживать необходимую частоту сигнала биений, которая изменяется при разряде батареи, при изменении температуры окружающей среды или при девиации магнитных свойств грунта. Также нужно отрегулировать громкость щелчков с помощью регулятора R16.

Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L1 окажется какой-либо металлический предмет, частота сигнала в телефонах изменится. При приближении к одним металлам частота сигнала биений будет увеличиваться, а при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

С помощью такого металлоискателя мелкие предметы, например гвозди, можно обнаружить под слоем почвы на глубине до 10-15 см, а крупные (например крышки колодцев) — на глубине до 50-60 см.

2.6. Металлоискатель МИ-2

В первой половине 70-х годов прошлого столетия в Советском Союзе был разработан и серийно выпускался металлоискатель МИ-2, который широко использовался в народном хозяйстве. Схема и конструкция этого прибора неоднократно дорабатывались и совершенствовались. Один из известных вариантов металлодетектора МИ-2 можно рекомендовать начинающим радиолюбителям для повторения.





Принципиальная схема

Как и некоторые рассматривавшиеся ранее конструкции, металлодетектор МИ-2 представляет собой один из многочисленных вариантов прибора типа BFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух частот. При этом в данной конструкции оценка изменения частоты осуществляется на слух (рис. 2.12).

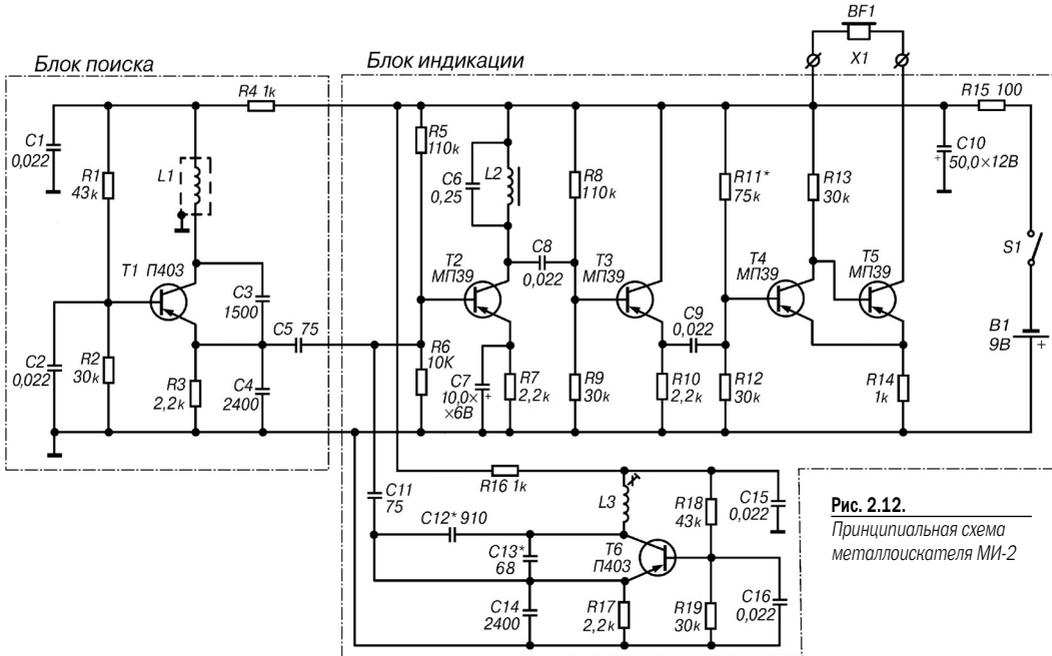


Рис. 2.12.
Принципиальная схема
металлоискателя МИ-2

Основу схемы прибора составляют измерительный и опорный генераторы, емкостной каскад, эмиттерный повторитель, триггер Шмитта и головные телефоны.

Измерительный генератор выполнен на транзисторе Т1, включенном по схеме с общей базой. Рабочая частота этого генератора определяется параметрами колебательного контура, который состоит из поисковой катушки L1 и конденсаторов C3, C4. Напряжение обратной связи, необходимое для самовозбуждения, подается с коллектора транзистора Т1 в цепь эмиттера через емкостной делитель C3, C4. В результате на выходе измерительного генератора формируется синусоидальный сигнал с частотой 510 кГц.

Опорный генератор выполнен на транзисторе Т6 по схеме, аналогичной схеме измерительного генератора. Рабочая частота этого генератора определяется параметрами колебательного контура, который состоит из катушки L3 с латунным подстроечным сердечником и конденсаторов C12, C13 и C14.

Колебания с опорного и измерительного генераторов через конденсаторы C5 и C11 поступают на вход смесителя, который выполнен на транзисторе Т2. В коллекторную цепь транзистора Т2 включен контур, состоящий из катушки L2 и конденсатора C6, в котором выделяются колебания разностной частоты.

Поисковая катушка L1, входящая в состав колебательного контура измерительного генератора, является датчиком, реагирующим на появление в зоне действия прибора металлических предметов.





При приближении катушки L1 к такому предмету происходит изменение ее индуктивности и, как следствие, изменение частоты сигнала измерительного генератора. В результате частота сигнала на выходе смесительного каскада также изменится. Поскольку контур смесителя, выполненный на элементах L2 и C6, настроен на разностную частоту колебаний измерительного и опорного генераторов при отсутствии металлических предметов, изменение частоты сигнала приведет и к уменьшению амплитуды сигнала на выходе смесителя. Рабочая частота контура смесителя составляет 1 кГц.

Далее выделенный сигнал подается на эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе Т3 и служащий для согласования триггера Шмитта со смесителем.

Триггер Шмитта выполнен на транзисторах Т4, Т5 и представляет собой электронное реле, реагирующее на изменение амплитуды входного сигнала. Режимы работы транзисторов Т4 и Т5 выбраны таким образом, чтобы триггер срабатывал при напряжении сигнала на входе более 0,5 В. Формируемый акустический сигнал подается на головные телефоны ВФ1.

Питание металлоискателя осуществляется от источника В1 напряжением 9 В, при этом потребляемый ток не превышает 4—5 мА.

Детали и конструкция

Конструктивно металлодетектор МИ-2 состоит из двух блоков. В состав блока поиска входят элементы, образующие измерительный генератор, в состав блока индикации — опорный генератор, емкостной каскад, эмиттерный повторитель и триггер Шмитта. Оба блока соединены между собой экранированным кабелем.

К используемым при сборке металлоискателя МИ-2 деталям не предъявляются какие-либо особые требования. Единственное ограничение связано лишь с габаритными размерами, поскольку большая часть деталей прибора смонтирована на двух сравнительно небольших печатных платах.

Детали блока поиска размещены на печатной плате размерами 70x35 мм, выполненной из одностороннего фольгированного гетинакса или стеклотекстолита (рис. 2.13).

Детали блока индикации размещены на печатной плате размерами 150x75 мм, также выполненной из одностороннего фольгированного гетинакса или стеклотекстолита (рис. 2.14).

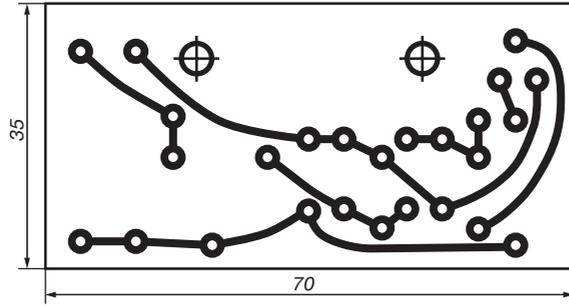
В выпускавшемся серийно металлоискателе МИ-2 использовались резисторы типа МЛТ-0,125, конденсаторы С1, С2, С8, С9, С15 и С16 — типа КЛС-1; С5, С11, С13 — КСО-1; конденсаторы С3, С4, С12, С14 — типа КСО-2; С6 - МБМ или МБМ-2; электролитические конденсаторы С7 и С10 — типа К50-3. Естественно, при повторении данного устройства можно использовать любые аналогичные детали из современной элементной базы. В качестве источника акустического сигнала подойдут головные телефоны типа ТОН-1.

Поисковая катушка L1 выполнена в виде кольца диаметром около 300 мм. Витки катушки заключены в электростатический экран из дюралюминиевой трубки диаметром 8 мм и толщиной стенок 1 мм. Для изготовления катушки необходимо сделать жгут из десяти кусков провода ПЭВ-2 диаметром 0,96 мм и длиной 1250 мм. Сначала жгут нужно протаскать в полихлорвиниловую трубку длиной 1000 мм, а затем — в дюралюминиевую трубку длиной 960 мм. Дюралюминиевую трубку с находящимися в ней проводами надо изогнуть по шаблону в кольцо. В качестве экрана можно использовать и обычную алюминиевую фольгу. Куски проводов соединяются последовательно с помощью распайки на колодке, установленной в корпусе блока поиска.



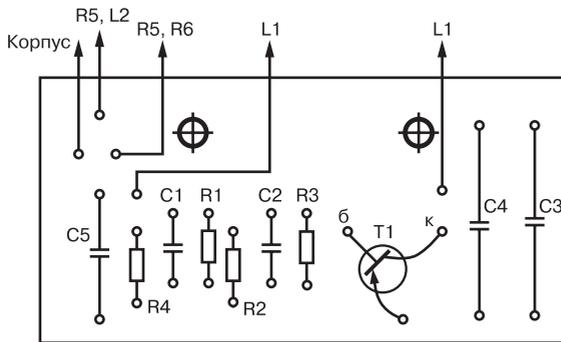
При изготовлении катушки L1 нужно особенно внимательно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей трубки, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток. Поэтому концы экрана желательно изолировать резиновой трубкой.





а

Рис. 2.13.
Печатная плата блока поиска металлоискателя МИ-2 (а) и расположение элементов на ней (б)



б

Катушка L2 смесителя наматывается на кольцевом ферритовом сердечнике М2000 НМ-А-К38х24х7. Она имеет 200 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,47 мм и установлена на печатной плате блока индикации.

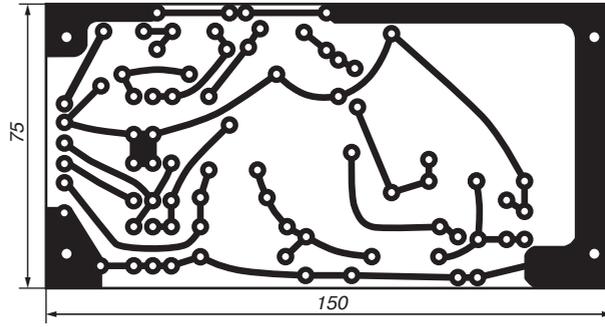
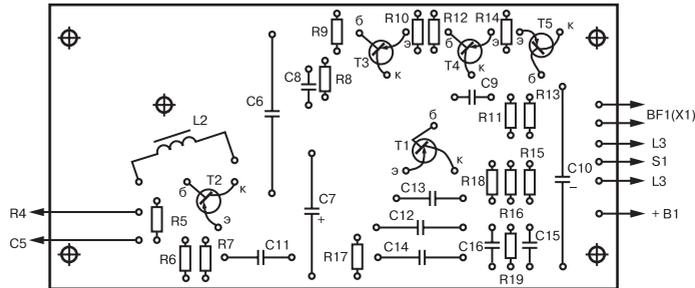
Катушка L3 опорного генератора содержит 135 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,1 мм, которые наматываются на каркасе диаметром 7-9 мм с подсторечным сердечником, изготовленным из латуни. При необходимости с подробным описанием специальной конструкции катушки L3 можно ознакомиться в журнале «Радио» № 4 за 1973 год.

Корпус блока поиска выполнен из дюралюминия. Поисковая катушка L1 и блок поиска закреплены на нижней части специальной ручки. Корпус блока индикации также изготовлен из дюралюминия. На крышке корпуса устанавливаются разъем для подключения блока поиска (на принципиальной схеме не указан), выключатель S1, а также разъем X1 для подключения головных телефонов BF1. В крышке также должно быть отверстие для ручки регулировки катушки L3.



**Рис. 2.14.**

Печатная плата блока индикации металлоискателя МИ-2 (а) и расположение элементов на ней (б)

*a**б*

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, две батарейки 3336Л, соединенные последовательно.

Налаживание

Основными этапами при налаживании металлоискателя МИ-2 являются установка порога срабатывания триггера и выбор частоты опорного генератора.

Порог срабатывания триггера устанавливается с помощью подбора сопротивления резистора R11. Для этого следует отпаять от коллектора транзистора Т2 вывод конденсатора С8 и подать на этот конденсатор сигнал от звукового генератора напряжением 0,5 В с частотой 1 кГц. Величину сопротивления резистора R11 необходимо подобрать такой, чтобы при незначительном уменьшении амплитуды сигнала звукового генератора звук в головных телефонах исчезал, а ток коллектора транзистора Т5 становился равным нулю.

Грубая настройка частоты сигнала, формируемого опорным генератором, выполняется подбором емкости конденсатора С12. Более точно значение частоты устанавливается подбором емкости конденсатора С18. Указанные регулировки следует проводить в условиях, когда





металлические предметы удалены от поисковой катушки L1 на расстояние не менее 1,5 м. Частота опорного генератора определяется с помощью частотомера или осциллографа. При этом конденсатор С11 должен быть отпаян от эмиттера транзистора Т6.

Затем необходимо установить среднюю частоту опорного генератора. Для этого следует восстановить соединение конденсатора С11 с эмиттером транзистора Т6, блок поиска отсоединить от блока индикации и частотомером измерить частоты опорного генератора при установке ручки настройки катушки L3 в крайние положения. Средняя частота опорного генератора определяется как среднее арифметическое значений измеренных частот. При необходимости величины емкостей конденсаторов С12 и С13 подбираются так, чтобы средняя частота опорного генератора отличалась от частоты измерительного генератора на 1 кГц.

После настройки частот измерительного и опорного генераторов вращением подстроечного сердечника катушки L3 на выходе смесительного каскада надо установить уровень напряжения сигнала немного более 0,5 В. В этом случае с частотой поступающего сигнала триггер будет переключаться, а в головных телефонах будет слышен звуковой сигнал.

Порядок работы

Проведение поисковых работ с помощью металлоискателя МИ-2 не имеет каких-либо особенностей. Если в зоне действия данного прибора окажется металлический предмет, то при приближении к нему поисковой катушки L1 в головных телефонах будет прослушиваться тон изменяющейся частоты, спадающий по громкости. Если катушку еще приблизить к металлическому предмету, то напряжение сигнала на выходе смесителя станет меньше порога срабатывания триггера. Триггер перестанет переключаться, а звуковой сигнал в головных телефонах исчезнет.

При необходимости в процессе поиска можно осуществлять подстройку металлодетектора на частоту биений, регулируя положение сердечника катушки L3.

В соответствии с данными, полученными при практическом использовании металлоискателя МИ-2, крупные металлические предметы (например, крышку колодца) можно обнаружить на расстоянии 600-800 мм, мелкие (например, отвертку) — на расстоянии 70-100 мм, а на монеты средней величины прибор начинает реагировать с расстояния 30-50 мм.



2.7. Металлоискатель с кварцем

Как уже указывалось ранее, металлоискатели, работа которых основана на оценке девиации частоты биений (ВFO), обладают сравнительно малой чувствительностью при поиске металлов со слабыми ферромагнитными свойствами (медь, олово, серебро и т.п.). Поскольку разность частот (биения) малозаметна при использовании обычных методов индикации, повысить чувствительность металлодетекторов ВFO довольно сложно.

Естественно, такая ситуация стала хорошим стимулом для поиска иных схемотехнических решений. Много лет назад автором был изготовлен прибор, в основу которого легла схема оригинального устройства, опубликованная в журнале «Radio-Electronics» (1967, №11). Основным элементом, с помощью которого осуществлялся анализ наличия металлических предметов, был кварц. При этом результаты анализа оценивались визуально.





Принципиальная схема

Предлагаемая вниманию читателей конструкция представляет собой один из вариантов металлодетекторов типа FM (Frequency Meter), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа девиации частоты опорного генератора под влиянием металлических предметов, попавших в зону действия поисковой катушки. Главными отличительными особенностями данного прибора можно считать интересное схемотехническое решение анализатора, выполненного на кварцевом элементе Q1, а также использование в качестве индикатора стрелочного прибора. Основу схемы рассматриваемого металлодетектора (рис. 2.15) составляют измерительный генератор, буферный каскад, анализатор, детектор высокочастотных колебаний и индикаторное устройство.

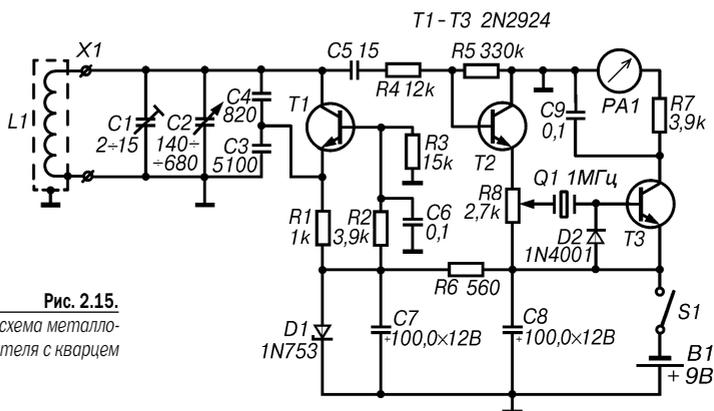


Рис. 2.15.
Принципиальная схема металлоискателя с кварцем

Колебательный контур генератора высокой частоты, выполненного на транзисторе T1, состоит из катушки L1 и конденсаторов C1-C4. Рабочая частота ВЧ-генератора зависит от девиации индуктивности катушки L1, которая одновременно является поисковой катушкой, а также от изменения емкостей подстроечного (C2) и регулировочного (C1) конденсаторов. При отсутствии металлических предметов в зоне действия катушки L1 частота колебаний, возбуждаемых в ВЧ-генераторе, должна быть равна частоте кварцевого элемента Q1, то есть в данном случае — 1 МГц.

После того как вблизи катушки L1 окажется металлический предмет, ее индуктивность изменится. Это приведет к отклонению частоты колебаний ВЧ-генератора. Далее сигнал ВЧ подается на буферный каскад, обеспечивающий согласование генератора с последующими цепями. В качестве буферного каскада используется эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе T2.

С выхода эмиттерного повторителя сигнал ВЧ через регулировочный резистор R8 и кварц Q1 поступает на детектор, выполненный на диоде D2. Вследствие высокой добротности кварца малейшие изменения частоты измерительного генератора будут приводить к уменьшению полного сопротивления кварцевого элемента. В результате на вход усилителя постоянного тока (УПТ), выполненного на транзисторе T3, поступает низкочастотный (НЧ) сигнал, изменение амплитуды которого обеспечивает соответствующее отклонение стрелки индикаторного прибора. Нагрузкой УПТ, выполненного на транзисторе T3, является стрелочный прибор с током полного отклонения 1 мА.

Питание металлоискателя осуществляется от источника B1 напряжением 9 В.





Детали и конструкция

Как и в некоторых рассмотренных ранее конструкциях, для изготовления металлоискателя с кварцевым элементом можно использовать любую макетную плату. Поэтому к используемым деталям не предъявляются какие-либо ограничения, связанные с габаритными размерами. Монтаж может быть как навесной, так и печатный.

Поисковая катушка L1 представляет собой кольцевую рамку, изготовленную из отрезка кабеля с внешним диаметром 8-10 мм (например кабеля марки РК-50). Центральную жилу кабеля следует удалить, а вместо нее протянуть шесть жил провода типа ПЭЛ диаметром 0,1-0,2 мм и длиной 115 мм. Получившийся многожильный кабель необходимо согнуть на подходящей оправке в кольцо таким образом, чтобы между началом и концом образовавшейся петли остался зазор шириной примерно 25-30 мм.

Конец провода, являющийся началом первого витка, следует припаять к экранирующей оплетке кабеля, начало второго витка — к концу первого и так далее. В результате получится катушка, содержащая шесть витков провода.

При изготовлении катушки L1 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкания концов экранирующей оплетки, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток.



Дополнительную жесткость конструкции катушки L1 можно придать, если расположить ее между двумя дисками из фанеры или гетинакса диаметром 400 мм и толщиной 5-7 мм.

Вместо транзисторов типа 2N2924, указанных на схеме, в данной конструкции можно использовать практически любые отечественные кремниевые маломощные транзисторы, например типа КТ315Б. Вместо диода типа 1N4001 (D2) рекомендуется применять любой германиевый диод серий Д2 или Д9 с любым буквенным индексом, а стабилитрон типа 1N753 без проблем можно заменить, например, стабилитроном 2С156А.

В качестве элемента Q1 можно использовать любой кварцевый элемент с частотой от 900 кГц до 1,1 МГц.

В качестве источника питания В1 можно применить, например, батарейку «Крона» или две батарейки 3336Л, соединенные последовательно.

Плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменный резистор R8, разъем X1 для подключения поисковой катушки L1, выключатель S1 и индикатор PA1.

Поисковую катушку L1 следует установить на конце подходящей ручки длиной 100-120 см. Соединение катушки с платой прибора выполняется многожильным экранированным кабелем.

Налаживание

Главным условием, обеспечивающим качественную настройку данного прибора, является отсутствие крупногабаритных металлических предметов на расстоянии не менее 1,5 м от поисковой катушки L1.

Непосредственное налаживание металлодетектора следует начать с установки нужной частоты колебаний, формируемых ВЧ-генератором. Частота колебаний ВЧ должна быть равна частоте кварцевого элемента Q1. Для выполнения данной регулировки рекомендуется воспользоваться цифровым частотомером. При этом значение частоты сначала грубо устанавливается изменением емкости конденсатора С2, а затем точно — регулировкой конденсатора С1.

При отсутствии частотомера настройку ВЧ-генератора можно провести по показаниям индикатора PA1. Поскольку кварц Q1 является элементом связи между поисковой и индикаторной частями прибора, то его сопротивление в момент резонанса весьма велико. Таким образом, о





точной настройке колебаний ВЧ-генератора на частоту кварца будет свидетельствовать минимальное показание стрелочного прибора PA1.

Уровень чувствительности данного устройства регулируется резистором R8.

Порядок работы

При практическом использовании этого металлодетектора следует переменным резистором R8 установить стрелку индикатора PA1 на нулевое значение шкалы. При этом в определенной степени компенсируются изменения режимов работы, обусловленные разрядом батареи, изменением температуры окружающей среды или девиацией магнитных свойств грунта.

Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L1 окажется какой-либо металлический предмет, стрелка индикатора PA1 отклонится.

2.8. Усовершенствованный металлоискатель с кварцем

В последние годы многие уважаемые европейские издательства уделяют значительное внимание различным техническим устройствам, используемым при проведении поисковых работ. Ежегодно на прилавки книжных магазинов поступают новые книги с описаниями различных устройств. Следует признать, что в основном эти устройства сложны при сборке и регулировке и вряд ли могут быть рекомендованы для повторения начинающим радиолюбителям.

Тем не менее в одной из книг, опубликованных в рамках серии «Elektronicke hledace» популярным европейским издательством «BEN», автор сравнительно недавно не без удивления обнаружил схему металлодетектора, которая показалась очень знакомой. Основным элементом, с помощью которого в этом приборе анализируется наличие металлических предметов, является кварц. При этом результаты анализа оцениваются как визуально, так и на слух.

Принципиальная схема

Предлагаемая вниманию читателей конструкция представляет собой один из вариантов металлодетекторов типа FM (Frequency Meter), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа девиации частоты опорного генератора под влиянием металлических предметов, попавших в зону действия поисковой катушки.

При внимательном изучении принципиальной схемы можно заметить, что данное устройство является усовершенствованным вариантом металлоискателя, рассмотренного в предыдущем разделе. Одной из главных отличительных особенностей этой конструкции по-прежнему является анализатор, выполненный на кварцевом элементе Q1. Помимо этого в усовершенствованном варианте металлодетектора в качестве индикатора помимо стрелочного прибора применена схема акустической сигнализации.

Поскольку в предлагаемой схеме (рис. 2.16) изменена нумерация элементов, используется новая элементная база, а также добавлен дополнительный каскад, автор счел необходимым подробнее рассмотреть ее особенности.

Как и в предыдущей конструкции, основу схемы данного металлодетектора составляют измерительный генератор, буферный каскад, детектор колебаний ВЧ, анализатор и индикаторное устройство.

Колебательный контур генератора высокой частоты, выполненного на транзисторе T1, состоит из катушки L1 и конденсаторов C3-C6. Рабочая частота ВЧ-генератора зависит от деви-



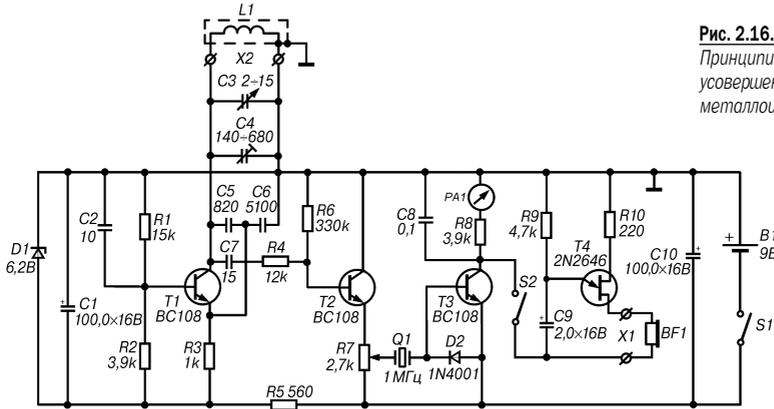


Рис. 2.16.

Принципиальная схема
усовершенствованного
металлоискателя с кварцем

ации индуктивности поисковой катушки L1, а также от изменения емкостей подстроечного конденсатора C4 и регулировочного конденсатора C3. При отсутствии вблизи катушки L1 металлических предметов частота колебаний, возбуждаемых в ВЧ-генераторе, должна быть равна частоте кварцевого элемента Q1, то есть в данном случае — 1 МГц.

После того как в зоне действия поисковой катушки L1 окажется металлический предмет, ее индуктивность изменится. Это приведет к изменению частоты колебаний ВЧ-генератора. Далее сигнал ВЧ подается на буферный каскад, обеспечивающий согласование генератора с последующими цепями. В качестве буферного каскада используется эмиттерный повторитель, выполненный на транзисторе T2.

С выхода эмиттерного повторителя сигнал ВЧ через регулировочный резистор R7 и кварц Q1 поступает на детектор, выполненный на диоде D2. Благодаря высокой добротности кварца малейшие изменения частоты измерительного генератора будут приводить к уменьшению полного сопротивления кварцевого элемента. В результате на вход усилителя постоянного тока (база транзистора T3) поступает низкочастотный сигнал, изменение амплитуды которого обеспечивает соответствующее отклонение стрелки индикаторного прибора.

Нагрузкой УПТ, выполненного на транзисторе T3, является стрелочный прибор с током полного отклонения 1 мА. При замыкании выключателя S2 в цепь нагрузки включается генератор звукового сигнала, выполненный на транзисторе T4.

Питание металлоискателя осуществляется от источника B1 напряжением 9 В.

Детали и конструкция

Как и в некоторых рассмотренных ранее конструкциях, для изготовления металлоискателя с кварцевым элементом можно использовать любую макетную плату. Поэтому к используемым деталям не предъявляются какие-либо ограничения, связанные с габаритными размерами. Монтаж может быть как навесной, так и печатный.

Поисковая катушка L1 (рис. 2.17) аналогична катушке, используемой в металлодетекторе, который был рассмотрен в предыдущем разделе.

Вместо транзисторов типа BC108, указанных на схеме, в данной конструкции можно использовать практически любые отечественные кремниевые маломощные транзисторы, например, типа КТ315Б. Вместо диода типа 1N4001 (D2) рекомендуется применять любой германиевый диод серий D2 или D9 с любым буквенным индексом.



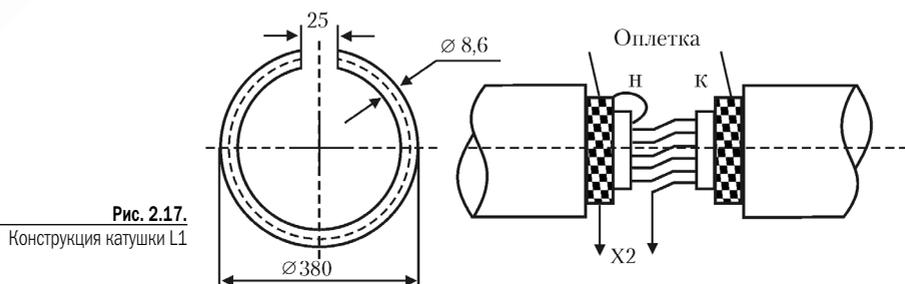


Рис. 2.17.
Конструкция катушки L1

В качестве элемента Q1 можно использовать любой кварцевый элемент с частотой от 900 кГц до 1,1 МГц.

Источником питания В1 может служить батарейка «Крона» или две батарейки 3336Л, соединенные последовательно.

Плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменный резистор R7, выключатели S1 и S2, разъемы X1 и X2, а также индикатор PA1.

Поисковую катушку L1 следует установить на конце подходящей ручки длиной 100-120 см. Соединение катушки с платой прибора выполняется многожильным экранированным кабелем.

Налаживание

Главным условием, обеспечивающим качественную настройку данного прибора, является отсутствие крупногабаритных металлических предметов на расстоянии не менее 1,5 м от поисковой катушки L1.

Непосредственное налаживание металлодетектора следует начать с установки нужной частоты колебаний, формируемых ВЧ-генератором. Частота колебаний ВЧ должна быть равна частоте кварцевого элемента Q1. Для выполнения данной регулировки рекомендуется воспользоваться цифровым частотомером. При этом значение частоты сначала грубо устанавливается изменением емкости конденсатора С4, а затем точно — регулировкой конденсатора С3.

При отсутствии частотомера настройку ВЧ-генератора можно провести по показаниям индикатора PA1. Кварц Q1 является элементом связи между измерительной и индикаторной частями прибора, поэтому его сопротивление в момент резонанса велико. Таким образом, о точной настройке колебаний ВЧ-генератора на частоту кварца будет свидетельствовать минимальное показание стрелочного прибора PA1.

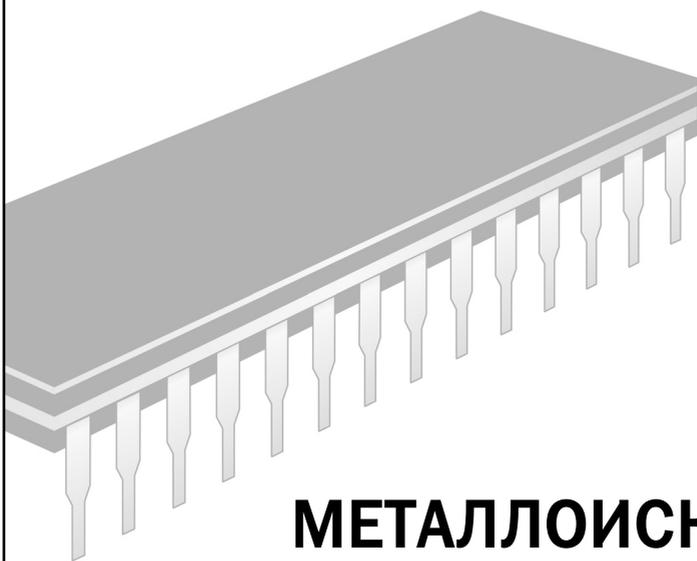
Уровень чувствительности данного устройства регулируется резистором R7.

Порядок работы

При практическом использовании этого металлодетектора следует переменным резистором R7 установить стрелку индикатора PA1 на нулевое значение шкалы. При этом в определенной степени компенсируются изменения режимов работы, обусловленные разрядом батареи, изменением температуры окружающей среды или девиацией магнитных свойств грунта.

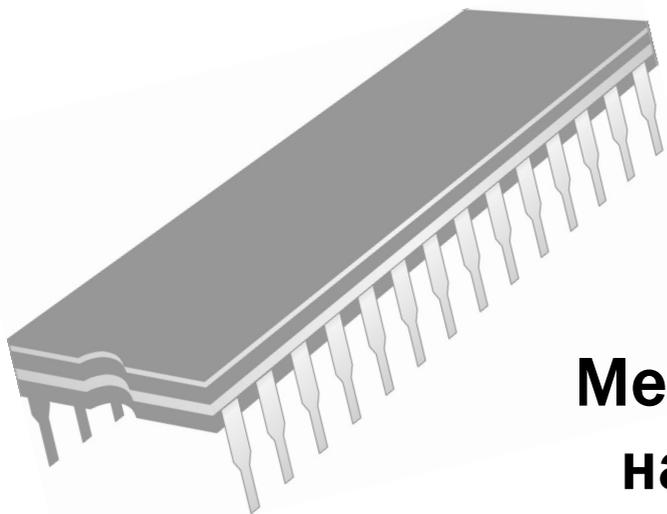
Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L1 окажется какой-либо металлический предмет, стрелка индикатора PA1 отклонится. В этом случае при замыкании контактов выключателя S2 в головных телефонах появится звуковой сигнал.





МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ НА МИКРОСХЕМАХ

3.1.	Простой металлоискатель на микросхеме К155ЛА3	54
3.2.	Простой металлоискатель на микросхеме К176ЛЕ5	57
3.3.	Простой металлоискатель на микросхеме К561ЛЕ5	60
3.4.	Металлоискатель с повышенной чувствительностью	64
3.5.	Металлоискатель на микросхеме К176ЛП2	69
3.6.	Металлоискатель на трех микросхемах	72
3.7.	Металлоискатель с кварцевой стабилизацией	76
3.8.	Простой импульсный металлоискатель	80
3.9.	Усовершенствованный импульсный металлоискатель	89



3 Металлоискатели на микросхемах

В специализированной литературе много лет публикуются описания металлоискателей разных типов, выполненных на микросхемах. При этом предлагаемые конструкции отличаются не только используемой элементной базой, но и степенью сложности. В данной главе рассматриваются лишь некоторые схемотехнические решения, которые легли в основу как простых устройств, которые под силу собрать начинающим радиолюбителям, так и более сложных конструкций.

3.1. Простой металлоискатель на микросхеме К155ЛА3



Начинающим радиолюбителям можно рекомендовать для повторения конструкцию простого металлоискателя, основой для которого послужила схема, неоднократно публиковавшаяся в конце 70-х годов прошлого столетия в различных отечественных и зарубежных специализированных изданиях. Этот металлодетектор, выполненный всего на одной микросхеме типа К155ЛА3, можно собрать за несколько минут.

Принципиальная схема

Предлагаемая конструкция представляет собой один из многочисленных вариантов металлодетекторов типа ВFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух сигналов, близких по частоте (рис. 3.1). При этом в данной конструкции оценка изменения частоты биений осуществляется на слух.

Основу прибора составляют измерительный и опорный генераторы, детектор колебаний ВЧ, схема индикации, а также стабилизатор питающего напряжения.

В рассматриваемой конструкции использованы два простых LC-генератора, выполненные на микросхеме IC1. Схемотехнические решения этих генераторов практически идентичны. При этом первый генератор, который является опорным, собран на элементах IC1.1 и IC1.2, а второй, измерительный или перестраиваемый генератор, выполнен на элементах IC1.3 и IC1.4.

Контур опорного генератора образован конденсатором С1 емкостью 200 пФ и катушкой L1. В контуре измерительного генератора используются конденсатор переменной емкости С2 с максимальной емкостью примерно 300 пФ, а также поисковая катушка L2. При этом оба генератора настроены на рабочую частоту примерно 465 кГц.



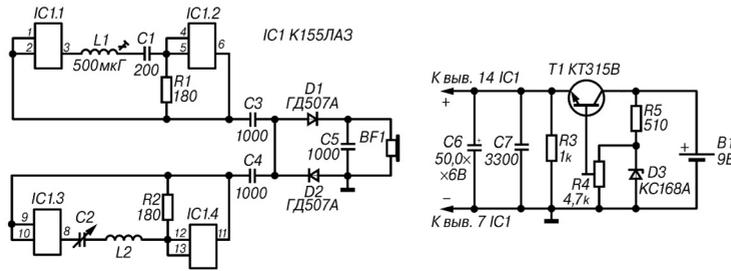
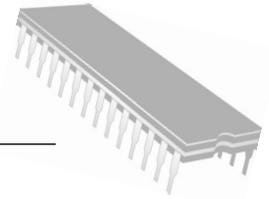


Рис. 3.1.
Принципиальная
схема металлоис-
кателя на микро-
схеме К155ЛА3

Выходы генераторов через развязывающие конденсаторы C3 и C4 подключены к детектору колебаний ВЧ, выполненному на диодах D1 и D2 по схеме удвоения выпрямленного напряжения. Нагрузкой детектора являются головные телефоны BF1, на которых выделяется сигнал низкочастотной составляющей. При этом конденсатор C5 шунтирует нагрузку по высшим частотам.

При приближении поисковой катушки L2 колебательного контура перестраиваемого генератора к металлическому предмету ее индуктивность изменяется, что вызывает изменение рабочей частоты данного генератора. При этом, если вблизи катушки L2 находится предмет из черного металла (ферромагнетика), ее индуктивность увеличивается, что приводит к уменьшению частоты перестраиваемого генератора. Цветной же металл уменьшает индуктивность катушки L2, а рабочую частоту генератора увеличивает.

ВЧ-сигнал, сформированный в результате смешивания сигналов измерительного и опорного генераторов после прохождения через конденсаторы C3 и C4, подается на детектор. При этом амплитуда сигнала ВЧ изменяется с частотой биений.

Низкочастотная огибающая ВЧ-сигнала выделяется детектором, выполненным на диодах D1 и D2. Конденсатор C5 обеспечивает фильтрацию высокочастотной составляющей сигнала. Далее сигнал биений поступает на головные телефоны BF1.

Питание на микросхему IC1 подается от источника B1 напряжением 9 В через стабилизатор напряжения, образованный стабилитроном D3, балластным резистором R3 и регулирующим транзистором T1.

Детали и конструкция

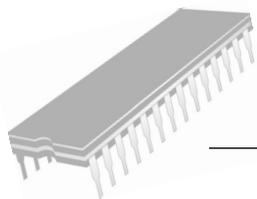
Для изготовления рассматриваемого металлоискателя можно использовать любую макетную плату. Поэтому к используемым деталям не предъявляются какие-либо ограничения, связанные с габаритными размерами. Монтаж может быть как навесной, так и печатный.

При повторении металлодетектора можно использовать микросхему К155ЛА3, состоящую из четырех логических элементов 2И-НЕ, питающихся от общего источника постоянного тока. В качестве конденсатора C2 можно использовать конденсатор настройки от переносного радиоприемника (например от радиоприемника «Альпинист»). Диоды D1 и D2 можно заменить любыми высокочастотными германиевыми диодами.

Катушка L1 контура опорного генератора должна иметь индуктивность около 500 мкГ. В качестве такой катушки рекомендуется использовать, например, катушку фильтра ПЧ супергетеродинного приемника.

Измерительная катушка L2 содержит 30 витков провода ПЭЛ диаметром 0,4 мм и выполнена в виде тора диаметром 200 мм. Эту катушку проще изготовить на жестком каркасе, однако можно обой-





тись и без него. В этом случае в качестве временного каркаса можно использовать любой подходящий по размерам круглый предмет, например банку. Витки катушки наматываются внавал, после чего снимаются с каркаса и экранируются электростатическим экраном, который представляет собой незамкнутую ленту из алюминиевой фольги, намотанную поверх жгута витков. Щель между началом и концом намотки ленты (зазор между концами экрана) должна составлять не менее 15 мм.



При изготовлении катушки L2 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей ленты, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток. В целях повышения механической прочности катушку можно пропитать эпоксидным клеем.

Для источника звуковых сигналов следует применить высокоомные головные телефоны с возможно большим сопротивлением (около 2000 Ом). Подойдет, например, широко известный телефон ТА-4 или ТОН-2.

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки типа 3336Л, соединенные последовательно.

В стабилизаторе напряжения емкость электролитического конденсатора С6 может составлять от 20 до 50 мкФ, а конденсатора С7 — от 3 300 до 68 000 пФ. Напряжение на выходе стабилизатора, равное 5 В, устанавливается подстроечным резистором R4. Такое напряжение будет поддерживаться неизменным даже при значительной разрядке батарей.



Необходимо отметить, что микросхема К155ЛА3 рассчитана на питание от источника постоянного тока напряжением 5 В. Поэтому при желании из схемы можно исключить блок стабилизатора напряжения и использовать в качестве источника питания одну батарейку типа 3336Л или аналогичную ей, что позволяет собрать компактную конструкцию. Однако разрядка этой батарейки очень быстро отразится на функциональных возможностях данного металлодетектора. Именно поэтому необходим блок питания, обеспечивающий формирование стабильного напряжения 5 В.

Следует признать, что в качестве источника питания автор использовал четыре большие круглые батарейки импортного производства, соединенные последовательно. При этом напряжение 5 В формировалось интегральным стабилизатором типа 7805.

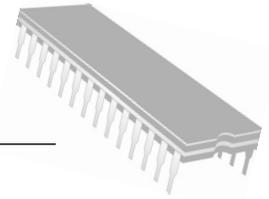
Плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменный конденсатор С2, выключатель S1, а также разъемы для подключения поисковой катушки L2 и головных телефонов BF1 (эти разъемы и выключатель S1 на принципиальной схеме не указаны).

Налаживание

Как и при регулировке других металлоискателей, данный прибор следует настраивать в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L2 на расстояние не менее одного метра.

Сначала с помощью частотомера или осциллографа необходимо настроить рабочие частоты опорного и измерительного генераторов. Частота опорного генератора устанавливается равной примерно 465 кГц регулировкой сердечника катушки L1 и, при необходимости, подбором емкости конденсатора С1. Перед регулировкой потребуется отсоединить соответствующий вывод конденсатора С3 от диодов детектора и конденсатора С4. Далее нужно отсоеди-





нить соответствующий вывод конденсатора С4 от диодов детектора и от конденсатора С3 и регулировкой конденсатора С2 установить частоту измерительного генератора так, чтобы ее значение отличалось от частоты опорного генератора примерно на 1 кГц.

После восстановления всех соединений металлоискатель готов к работе.

Порядок работы

Проведение поисковых работ с помощью рассмотренного металлодетектора не имеет каких-либо особенностей. При практическом использовании прибора следует переменным конденсатором С2 поддерживать необходимую частоту сигнала биений, которая изменяется при разряде батареи, изменении температуры окружающей среды или девиации магнитных свойств грунта.

Если в процессе работы частота сигнала в головных телефонах изменится, то это свидетельствует о наличии в зоне действия поисковой катушки L2 какого-либо металлического предмета. При приближении к некоторым металлам частота сигнала биений будет увеличиваться, а при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

3.2. Простой металлоискатель на микросхеме K176ЛЕ5

Как уже указывалось ранее, среди начинающих радиолюбителей большой популярностью пользуются схемы металлодетекторов, которые работают по принципу анализа частоты сигнала биений, возникающего при смешивании двух близких по частоте сигналов (принцип ВFO). Такие приборы просты в изготовлении и налаживании, о чем можно судить, ознакомившись со следующей конструкцией.

Принципиальная схема

Как и в металлодетекторе, рассмотренном в предыдущем разделе, данный прибор собран всего на одной микросхеме (рис.3.2). Однако отличия заключаются не только в другом типе используемой микросхемы, но и в схемотехнике опорного и измерительного генераторов. Несколько иное построение схемы позволило обойтись без конденсатора переменной емкости, а также использовать всего одну катушку индуктивности.

Основу прибора составляют измерительный и опорный генераторы, детектор колебаний ВЧ и схема индикации.

Как и в упомянутой конструкции, в рассматриваемом приборе использованы два простых генератора, выполненные на элементах микросхемы IC1. При этом первый генератор, который является опорным, собран на элементах IC1.1 и IC1.2, а второй, измерительный или перестраиваемый генератор выполнен на элементах IC1.3 и IC1.4.

Рабочая частота опорного генератора зависит от суммарного сопротивления резисторов R1 и R2, а также от емкости конденсатора С1. Подстроечным резистором R1 обеспечивается грубое, а переменным резистором R2 — плавное изменение частоты генератора. Частота измерительного генератора зависит от емкости конденсатора С2 и индуктивности катушки L1, которая является поисковой.



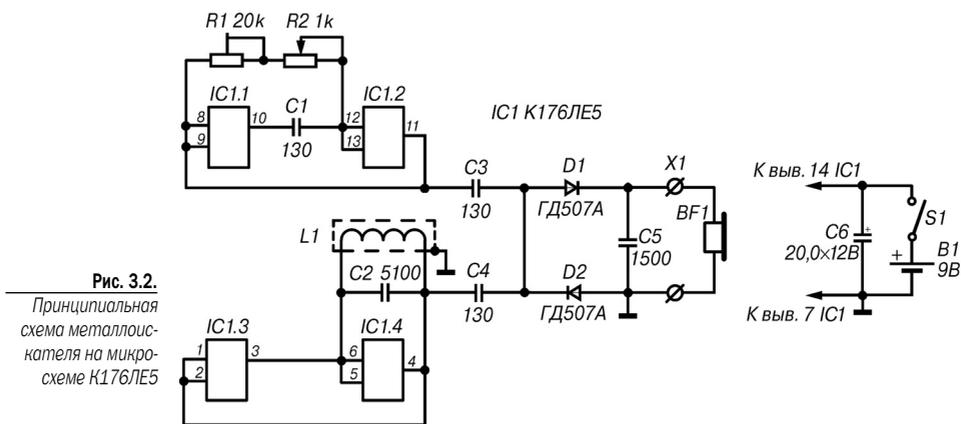
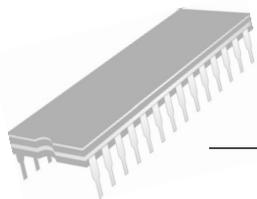


Рис. 3.2.
Принципиальная
схема металлоис-
кателя на микро-
схеме К176ЛЕ5

Выходы обоих генераторов через развязывающие конденсаторы C3 и C4 подключены к детектору ВЧ-колебаний, выполненному на диодах D1 и D2 по схеме удвоения выпрямленного напряжения.

С выхода детектора низкочастотный сигнал подается непосредственно на головные телефоны BF1. Конденсатор C5 обеспечивает шунтирование нагрузки по высшим частотам.

При приближении поисковой катушки L1 колебательного контура перестраиваемого генератора к металлическому предмету ее индуктивность изменяется, что вызывает изменение рабочей частоты генератора. Если вблизи катушки L1 находится предмет из черного металла, ее индуктивность увеличивается, что приводит к уменьшению частоты измерительного генератора. Цветной же металл уменьшает индуктивность катушки L1, при этом рабочая частота генератора возрастает.

ВЧ-сигнал, сформированный в результате смешивания сигналов измерительного и опорного генераторов после прохождения через конденсаторы C3 и C4, подается на детектор. При этом амплитуда сигнала ВЧ изменяется с частотой биений.

Низкочастотная огибающая ВЧ-сигнала выделяется детектором, выполненным на диодах D1 и D2. Конденсатор C5 обеспечивает фильтрацию высокочастотной составляющей сигнала. Далее сигнал биений поступает на головные телефоны BF1.

Питание на микросхему IC1 подается от источника B1 напряжением 9 В.

Детали и конструкция

Все детали простого транзисторного металлоискателя за исключением поисковой катушки L1, резисторов R1 и R2, разъемов X1 и X2 и выключателя S1 расположены на печатной плате размерами 80x22 мм, изготовленной из одностороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Естественно, рекомендуется использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате (рис. 3.3).

В данном приборе помимо микросхемы К176ЛЕ5 можно использовать микросхемы К176ЛА7, К176ПУ1, К176ПУ2, К561ЛА7, К564ЛА7 или К564ЛН2.



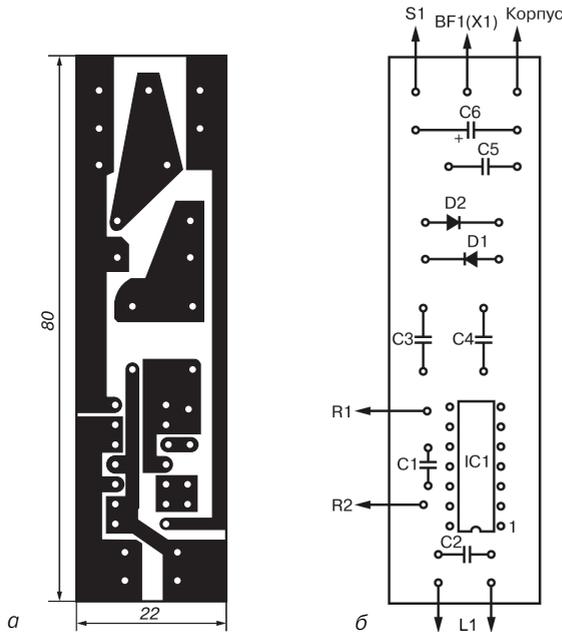
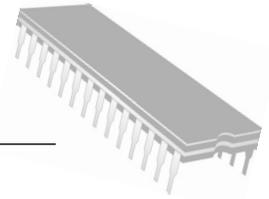


Рис. 3.3.
Печатная плата (а)
и расположение
элементов (б)
металлоискателя
на микросхеме
К176ЛЕ5

Подстроечный резистор R1 может быть типа СП5-2, а переменный резистор R2 — типа СПО-0,5 (вполне подойдут и другие малогабаритные резисторы), конденсатор С6 — типа К50-12 или любой другой на номинальное напряжение не менее 10 В. Остальные конденсаторы могут быть любыми малогабаритными керамическими, например типа КМ-6.

Для изготовления катушки L1 рекомендуется использовать отрезок медной или алюминиевой трубки с внутренним диаметром 8-10 мм и длиной около 630 мм. Внутри трубки следует протянуть жгут из 20 отрезков провода ПЭЛШО диаметром 0,5 мм, предварительно протянутых в полихлорвиниловую трубку. Дюралюминиевую трубку с находящимися в ней проводами надо изогнуть по шаблону в кольцо диаметром около 200 мм. Конец провода, являющийся началом первого витка, следует припаять к одному из выводов конденсатора С2, начало второго витка — к концу первого витка и так далее. Конец последнего витка припаивается ко второму выводу конденсатора С2. В результате получится катушка, содержащая 20 витков. При изготовлении катушки L1 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей трубки, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток.

Для изготовления экрана можно использовать и обычную алюминиевую фольгу. В этом случае дополнительную жесткость конструкции катушки L1 можно придать, если расположить ее между двумя дисками из фанеры или гетинакса соответствующих размеров.

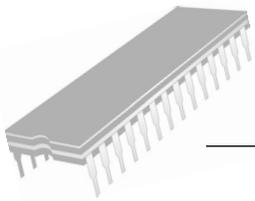
В качестве источника звуковых сигналов рекомендуется применять любые высокоомные головные телефоны с сопротивлением около 2000 Ом. Подойдет широко известный телефон ТА-4 или ТОН-2.

Источником питания V1 может служить батарейка «Крона» или две батарейки типа 3336Л, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем пластмассовом или деревянном корпусе. На крышке корпуса устанавливаются подстроечный резистор R1 и переменный резистор R2, разъем X1 для подключения головных телефонов BF1, а также выключатель S1.

Поисковая катушка L1 располагается на конце любой удобной ручки.





Налаживание

Налаживание рассматриваемого металлоискателя следует проводить в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L1 на расстояние не менее одного метра.

Сначала необходимо настроить рабочие частоты опорного и измерительного генераторов, предварительно установив движки резисторов R1 и R2 в среднее положение. Установку частот желательнее контролировать с помощью частотомера или осциллографа. Частота опорного генератора грубо устанавливается регулировкой резистора R1, а более точно — переменным резистором R2. При необходимости можно подобрать емкость конденсатора C1. Перед выполнением этой регулировки потребуется отсоединить соответствующий вывод конденсатора C3 от диодов детектора и от конденсатора C4. Далее, отсоединив соответствующий вывод конденсатора C4 от диодов детектора и от конденсатора C3, подбором емкости конденсатора C2 следует выбрать частоту измерительного генератора так, чтобы ее значение отличалось от частоты опорного генератора примерно на 500-1000 Гц.



К сожалению, выбрать более низкую частоту биений для получения высокой чувствительности невозможно по ряду причин. Во-первых, при таких близких частотах двух генераторов возможен «захват» частоты одного генератора другим, что приведет к их взаимной синхронизации. А во-вторых, на сигналы низких частот биений, на которых достигается максимальная чувствительность (например, при частоте биений 1-10 Гц) головные телефоны практически не реагируют.

После восстановления всех соединений вращением движка резистора R1 следует добиться наиболее низкого тона в головных телефонах.

При появлении помех или сбоев в работе прибора, обусловленных взаимным влиянием генераторов, между выводами 7 и 14 микросхемы IC1 рекомендуется впаять конденсатор емкостью 0,01-0,1 мкФ.

Порядок работы

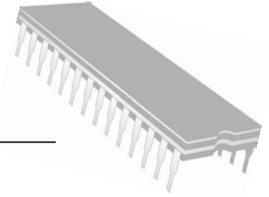
При практическом использовании прибора необходимую частоту сигнала биений следует поддерживать переменным резистором R2. Частота биений может изменяться под влиянием различных факторов (например, при изменении температуры окружающей среды, девиации магнитных свойств грунта или разряде батареи).

Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L1 окажется какой-либо металлический предмет, то частота сигнала в телефонах изменится. При приближении к некоторым металлам частота сигнала биений будет увеличиваться, а при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

3.3. Простой металлоискатель на микросхеме K561ЛЕ5

Помимо рассмотренных в предыдущих разделах данной главы металлодетекторов существуют и другие варианты устройств на микросхемах, работа которых основана на принципе биений. Одна из таких конструкций создана на базе металлоискателя, разработанного И. Нечаевым из г. Курска (С подробным описанием прибора И. Нечаева можно ознакомиться в журнале «Радио» №1 за 1987 год).





Принципиальная схема

Как уже упоминалось, рассматриваемый металлодетектор представляет собой один из многочисленных вариантов прибора типа BFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух частот. При этом в данной конструкции оценка изменения частоты осуществляется на слух.

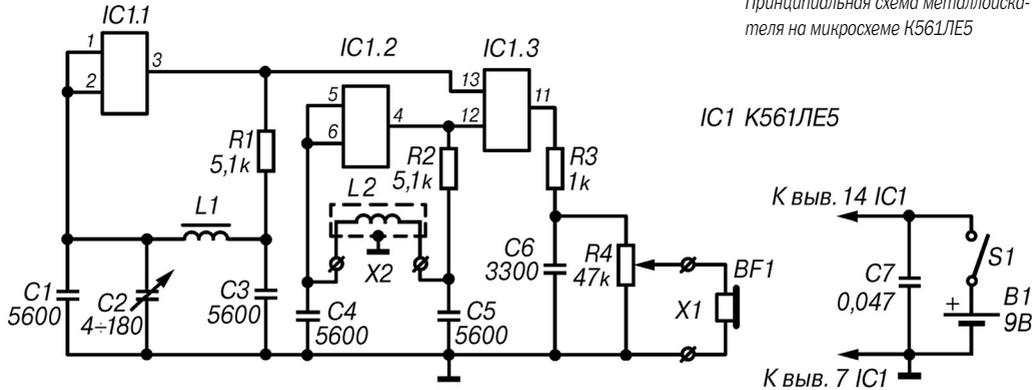


Рис. 3.4.
Принципиальная схема металлоискателя на микросхеме К561ЛЕ5

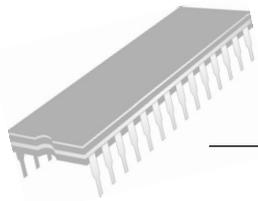
Основу схемы этого прибора составляют измерительный и опорный генераторы, смеситель и схема акустической индикации (рис. 3.4). Опорный и измерительный генераторы выполнены на элементах микросхемы IC1.

Опорный генератор собран на элементе IC1.1. Отрицательная обратная связь по постоянному току между выходом (вывод 3) и входом (выводы 1, 2) данного элемента осуществляется через резистор R1 и катушку индуктивности L1. Параметры катушки L1 и резистора R1 выбраны так, что элемент работает на линейном участке передаточной характеристики. Таким образом создаются условия для возбуждения каскада на частоте примерно 100 кГц, которая определяется параметрами элементов контура L1C1C2C3. Элемент IC1.1 обладает высоким входным сопротивлением, поэтому добротность контура и стабильность частоты генератора сравнительно высоки. Резистор R3 ослабляет шунтирующее влияние выходного сопротивления элемента на контур. При необходимости частоту колебаний опорного генератора можно изменять в небольших пределах конденсатором переменной емкости C2.

Измерительный генератор выполнен по аналогичной схеме на элементе IC1.2. При этом рабочая частота данного генератора определяется параметрами элементов контура L2C4C5. Катушка L2 является поисковой. При приближении поисковой катушки L2 колебательного контура перестраиваемого генератора к металлическому предмету ее индуктивность изменяется, что вызывает изменение рабочей частоты генератора.

Колебания с опорного и измерительного генераторов поступают на входы элемента IC1.3, выполняющего функции смесителя сигналов. В результате на выходе элемента IC1.3 будут присутствовать не только сигналы основных частот генераторов, но и сигналы гармонических составляющих разностных и суммарных частот. Одним из самых мощных будет сигнал разностной частоты, который выделяется на резисторе R4. Остальные сигналы подавляются фильтром, в состав которого входят резистор R3 и конденсатор C6.





МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ НА МИКРОСХЕМАХ

Выходной сигнал через регулятор громкости R4 подается непосредственно на головные телефоны BF1. Использовать дополнительный низкочастотный усилитель не требуется, поскольку амплитуда выходного сигнала элемента IC1.3 составляет несколько вольт.

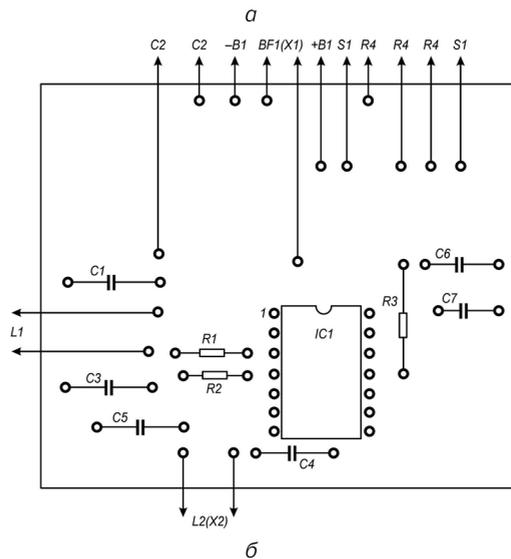
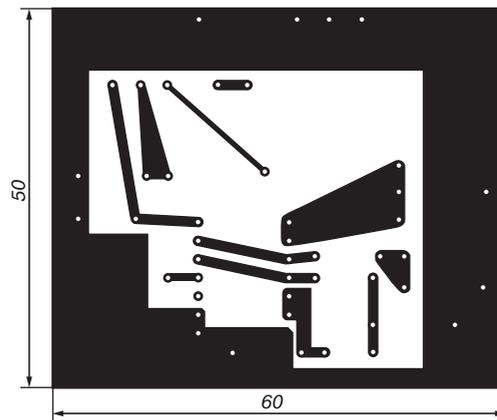
Питание на микросхему IC1 подается от источника В1 напряжением 9 В.

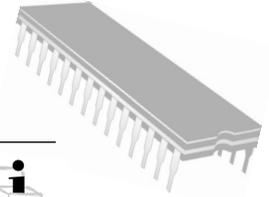
Детали и конструкция

Для изготовления рассматриваемого металлоискателя можно использовать любую макетную плату. Поэтому к используемым деталям не предъявляются какие-либо ограничения, связанные с габаритными размерами.

В статье И. Нечаева рекомендуется расположить детали данного металлодетектора (за исключением поисковой катушки L2, резистора R4, разъема X1 и выключателя S1) на печатной плате размерами 60x55 мм (рис. 3.5), изготовленной из одностороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

Рис. 3.5.
Печатная плата (а) и расположение элементов (б) металлоискателя на микросхеме К561ЛЕ5





Неиспользуемые входные выводы четвертого элемента микросхемы IC1 необходимо соединить с общим проводом.



В данном приборе можно использовать микросхемы серий К176, К561, К564, содержащие не менее трех логических элементов «или — не» или «и — не», например типа К561ЛЕ5, К561ЛА7, К561ЛА9 или К561ЛЕ10.

В качестве конденсатора С2 рекомендуется использовать любой конденсатор переменной емкости от малогабаритного радиоприемника. Максимальная емкость этого конденсатора должна быть не менее 150 пФ. Остальные конденсаторы могут быть любыми малогабаритными керамическими, например типа КЛС, КМ или КТ. Необходимо отметить, что для повышения термостабильности устройства конденсаторы С1, С3-С5 должны иметь ТКЕ не хуже М750 или М1500.

Постоянные резисторы могут быть любыми малогабаритными, например типа МЛТ-0,125. Переменный резистор R4 может иметь сопротивление от 10 до 68 кОм. При этом в качестве такого регулятора не рекомендуется использовать резисторы, механически соединенные с выключателем питания S1.

Катушка L1 контура опорного генератора может быть выполнена на каркасе от катушки контура ПЧ любого малогабаритного транзисторного приемника. Например, в металлодетекторе И. Нечаева эта катушка намотана на трехсекционном каркасе контура ПЧ радиоприемника «Сокол-403». При этом катушка L1 помещена в броневой сердечник диаметром 8,6 мм из феррита 600НН с подстроечником диаметром 2,8 и длиной 12 мм из такого же феррита. Катушка L1 содержит 200 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,09 мм.

Для изготовления поисковой катушки L2 рекомендуется использовать отрезок медной или алюминиевой трубки с внутренним диаметром 6-8 мм и длиной около 950 мм. Внутри трубки следует протянуть жгут из 18 отрезков провода МГТФ диаметром 0,07 мм, предварительно протянутых в полихлорвиниловую трубку. Дюралюминиевую трубку с находящимися в ней проводами надо изогнуть по шаблону в кольцо диаметром около 300 мм. Конец провода, являющийся началом первого витка, следует припаять к соответствующему выводу конденсатора С4, начало второго витка — к концу первого витка и так далее. Конец последнего витка припаивается к соответствующему выводу конденсатора С5. В результате получится катушка, содержащая 18 витков и имеющая индуктивность примерно 350 мкГ.

При изготовлении катушки L2 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкания концов экранирующей трубки, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток.



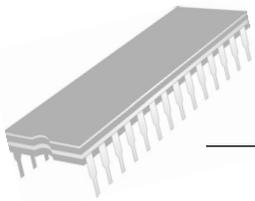
Вместо тонкостенной трубки для изготовления экрана можно использовать и обычную алюминиевую фольгу. В этом случае дополнительную жесткость конструкции катушки L2 можно придать, если расположить ее между двумя дисками из фанеры или гетинакса соответствующих размеров.

В качестве источника звуковых сигналов следует использовать высокоомные головные телефоны с возможно большим сопротивлением (около 2000 Ом). Подойдут, например, широко известные телефоны ТА-4 или ТОН-2. При использовании низкоомных телефонов металлоискатель следует дополнить каскадом на транзисторе КТ315Б, установив резистор R3 сопротивлением 10 кОм, а конденсатор С6 — емкостью 1000 пФ.

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки типа ЗЗ36Л, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем металлическом корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменный резистор R4, разъем X1 для подключения головных телефонов BF1, разъем X2 для подключения поисковой катушки L2 и выключатель S1.





Налаживание

Как и при регулировке других металлоискателей, наладивание данного прибора следует проводить в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L2 на расстояние не менее одного метра.

Сначала необходимо настроить рабочую частоту опорного генератора. Для этого первоначально частота опорного генератора устанавливается равной рабочей частоте измерительного генератора с помощью регулировки положения подстроечного сердечника катушки L1 до полного пропадания звукового сигнала в головных телефонах, то есть до установки нулевых биений. Предварительно ротор конденсатора C2 следует установить примерно в среднее положение. В результате при незначительном повороте ручки конденсатора C2 в любую сторону в телефонах должен появляться звук низкого тона. При необходимости для настройки частоты опорного генератора можно воспользоваться частотомером или осциллографом.

Рекомендуемая разность частот опорного и измерительного генераторов должна составлять 400-500 Гц. При этом частота опорного генератора должна быть выше частоты измерительного генератора. Выбор столь высокого значения разностной частоты объясняется тем, что оба генератора, опорный и измерительный, выполнены на элементах одного общего кристалла микросхемы, и поэтому между ними неизбежно возникают паразитные связи, устранить которые практически невозможно. Этот факт и вынуждает использовать в данном металлоискателе биения частотой более 100-300 Гц, что неизбежно приводит к снижению его чувствительности.

Порядок работы

При безошибочном монтаже, исправных деталях и правильной регулировке рассматриваемый металлоискатель готов к работе сразу после окончания настройки.

Перед началом поисковых работ конденсатором C2 желательно установить возможно меньшую частоту биений. Это позволит повысить чувствительность прибора, поскольку обеспечит регистрацию даже небольших изменений частоты измерительного генератора. Однако очень низкую частоту биений выбрать не удастся, потому что на ней громкость звука в телефонах резко понизится.

Если в процессе работы частота сигнала в головных телефонах изменится, то это свидетельствует о наличии в зоне действия поисковой катушки L2 какого-либо металлического предмета. При приближении катушки к предметам из магнитных металлов (например из железа, феррита или никеля) частота сигнала биений будет увеличиваться, а при приближении к предметам из немагнитных металлов (например из алюминия, меди или латуни) — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

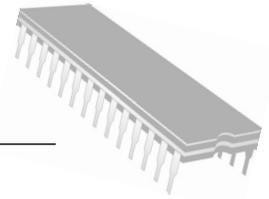
Уровень громкости сигнала в головных телефонах регулируется резистором R4.

3.4. Металлоискатель с повышенной чувствительностью

Одной из особенностей всех металлодетекторов типа BFO (Beat Frequency Oscillator), рассмотренных в предыдущих разделах этой главы, а также некоторых устройств, о которых будет рассказано далее, является то, что опорный и образцовый генераторы этих приборов конструктивно выполнены на элементах одной микросхемы.

Следует признать, что помимо определенных достоинств (например простоты схемы, температурной стабилизации) такие конструкции имеют и ряд недостатков. Главным из них является возникновение паразитных связей между отдельными элементами внутри кристалла





микросхемы, устранить которые практически невозможно. Именно поэтому в таких металлоискателях приходится выбирать частоту биений более 100-300 Гц, что неизбежно приводит к снижению его чувствительности.

Попытка избавить детекторы металлических предметов, работающих на основе анализа сигнала биений, хотя бы от указанных недостатков была предпринята при создании устройства, в основу которого была положена схема, опубликованная в отечественных и зарубежных изданиях в середине 90-х годов прошлого столетия.

Принципиальная схема

Предлагаемая конструкция представляет собой один из многочисленных вариантов металлодетекторов типа BFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух сигналов, близких по частоте. При этом в данной конструкции оценка изменения частоты биений осуществляется на слух.

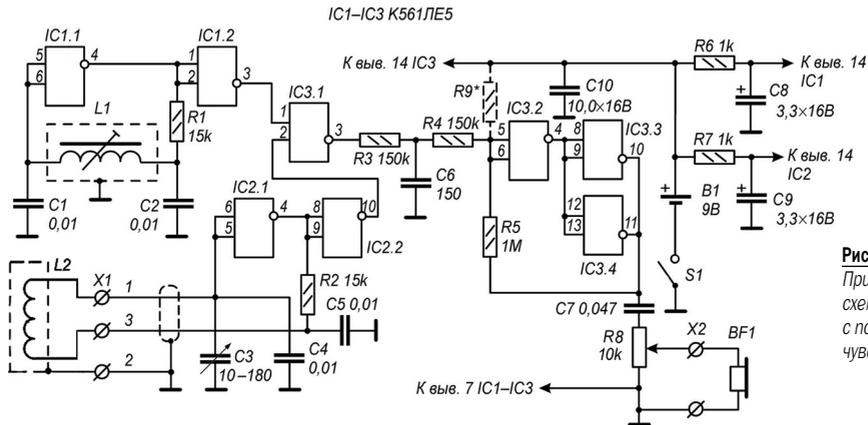


Рис. 3.6.
Принципиальная
схема металлоискателя
с повышенной
чувствительностью

Основу схемы этого прибора (рис. 3.6) составляют измерительный и опорный генераторы, смеситель, НЧ-фильтр, анализатор и схема акустической индикации.

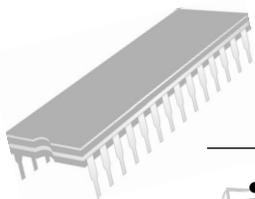
Измерительный и опорный генераторы представляют собой два простых LC-генератора, выполненных на элементах микросхем IC1 и IC2. При этом опорный генератор собран на элементе IC1.1, а измерительный или перестраиваемый генератор — на элементе IC2.1.

Частота колебаний опорного генератора определяется параметрами элементов его контура, то есть индуктивностью катушки L1 и емкостями конденсаторов C1, C2. Значения указанных параметров выбраны таким образом, чтобы рабочая частота опорного генератора была около 100 кГц. Колебательный контур измерительного генератора образован поисковой катушкой L2 и конденсаторами C3-C5. Рабочая частота этого генератора близка к частоте опорного генератора и может быть незначительно изменена регулировкой конденсатора переменной емкости C3. Элементы IC1.2 и IC2.2 выполняют функцию каскадов, обеспечивающих развязку между генераторами по переменному напряжению.

С выходов обоих генераторов сигналы ВЧ подаются на смеситель, выполненный на элементе IC3.1, на выходе которого формируются колебания с суммарными и разностными частотами генераторов и их гармоник, поступающие на схему НЧ-фильтра.

В отличие от многих других металлоискателей типа BFO в предлагаемом приборе для выделения сигналов разностной (звуковой) частоты применен фильтр низких частот, который собран на элементах R3 и C6. Далее сигнал НЧ подается на анализатор.





Как известно, чувствительность детекторов металлических предметов, оценивающих частоту сигнала биений, в значительной степени зависит от того, сигнал какой самой низшей частоты может быть зарегистрирован данным устройством. Наилучшей чувствительностью обладают металлоискатели, обеспечивающие анализ биения частотой в несколько герц. Однако прослушать такой сигнал непосредственно на головные телефоны невозможно в связи с ограниченным рабочим диапазоном частот телефонных капсулей.

Довольно часто разработчики прибегают к самому простому решению данной проблемы, а именно: просто увеличивают частоту сигнала биений с помощью различных умножителей. Один из вариантов схемы удвоения частоты (точнее, преобразования синусоидального сигнала в последовательность импульсов удвоенной частоты) уже был рассмотрен в предыдущей главе при описании транзисторного металлоискателя с повышенной чувствительностью.

В анализаторе рассматриваемого металлодетектора для увеличения частоты сигнала биений применена схема, обеспечивающая преобразование синусоидального (почти треугольного) сигнала в короткие импульсы с удвоенной частотой следования. Для этого используется компаратор напряжения, выполненный на элементах IC3.2-IC3.4. За один период частоты биений компаратор дважды переключается из одного логического состояния в другое, после чего формируемые им прямоугольные импульсы дифференцируются цепью C7R8 и далее через конденсатор C7 подаются на регулятор громкости R8. В результате на головные телефоны BF1, подключенные к разъему X2, поступают короткие импульсы напряжения удвоенной частоты.

Питание прибора осуществляется от источника В1 напряжением 9 В. При этом микросхемы IC1 и IC2 металлоискателя питаются от источника постоянного тока через развязывающие фильтры R6C8 и R7C9.

Детали и конструкция

Все детали рассматриваемого металлоискателя (за исключением поисковой катушки L2, резистора R8, конденсатора C3, разъемов X1 и X2, а также выключателя S1) расположены на печатной плате размерами 80x60 мм, изготовленной из двустороннего фольгированного гетинакса или текстолита (рис. 3.7). При этом монтаж элементов выполняется со стороны проводников, а фольга с другой стороны играет роль экрана.

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Рекомендуется использовать любые малагабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате.

Конденсатор C3 должен иметь максимальную емкость 180-240 пФ. Можно использовать любой конденсатор настройки от малагабаритного радиоприемника (например типа КП-180). Для повышения термостабильности желательно, чтобы конденсаторы C1, C2, C4 и C5 имели ТКЕ не хуже M1500. Постоянные резисторы могут быть, например, типа МЛТ-0,125.

Микросхемы типа K561ЛЕ5 можно заменить микросхемами K176ЛЕ5, K176ЛА7 или K561ЛА7. Катушка L1 содержит 30 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,08 мм. Для ее намотки рекомендуется использовать каркас от катушки контура ПЧ транзисторного радиоприемника (например, «Альпинист-407» или аналогичного).

Поисковая катушка L2 содержит 100 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,6 мм и выполнена в виде тора с внутренним диаметром 240-250 мм. Эту катушку проще изготовить на жестком каркасе, однако можно обойтись и без него. В таком случае в качестве временного каркаса можно использовать любой подходящий по размерам круглый предмет,



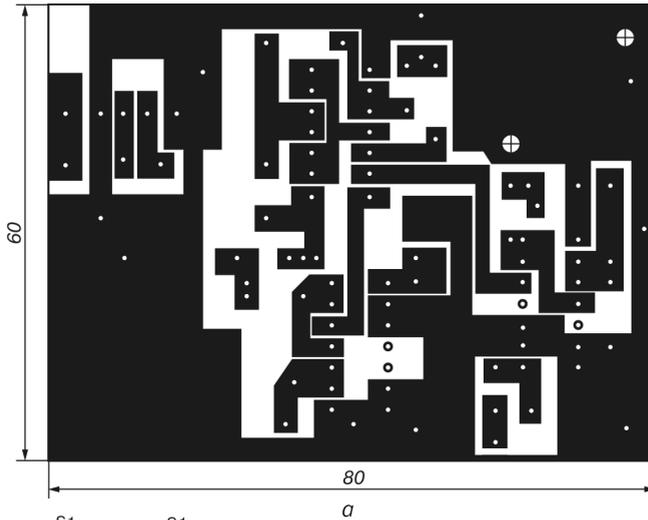
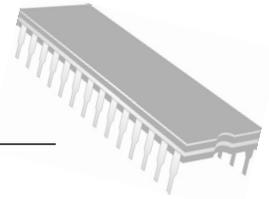
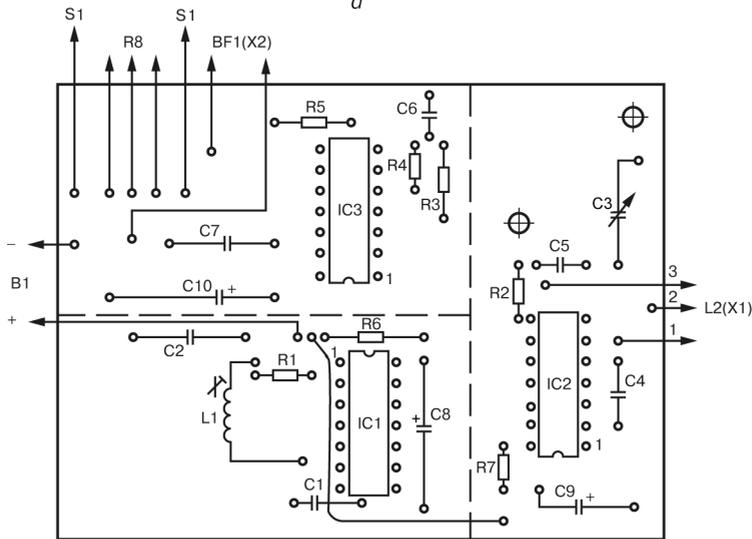


Рис. 3.7.
Печатная плата (а) и
расположение элемен-
тов (б) металлоискателя
с повышенной
чувствительностью



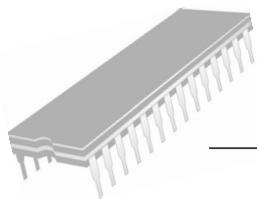
б

например банку. Витки катушки наматываются внавал, после чего снимаются с каркаса и экранируются электростатическим экраном, для изготовления которого поверх жгута витков наматывается лента из алюминиевой фольги. Щель между началом и концом катушки ленты (зазор между концами экрана) должна составлять около 10 мм.

При изготовлении катушки L2 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей ленты, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток. Для повышения механической прочности катушку перед экранированием можно пропитать эпоксидным клеем.

К выводам катушки следует подпаять проводники двужильного экранированного кабеля длиной около метра, на другом конце которого устанавливается разъем типа СШ-3 или любой





другой подходящий малогабаритный разъем. Оплетку кабеля необходимо соединить с экраном катушки. В рабочем положении разъем катушки подключается к ответной части разъема, расположенной на корпусе прибора.

Питание металлоискателя с повышенной чувствительностью осуществляется от источника В1 напряжением 9 В. В качестве такого источника можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки типа 3336Л, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем металлическом корпусе. На крышке корпуса устанавливаются конденсатор С3, переменный резистор R8, разъем X1 для подключения поисковой катушки L2, выключатель S1 и разъем X2 для подключения головных телефонов BF1.

Налаживание

Рассматриваемый металлоискатель следует настраивать в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L2 на расстояние не менее 1,5 м. Непосредственную настройку прибора нужно начать с выбора нужной частоты биений. Для этого рекомендуется воспользоваться осциллографом или цифровым частотомером.

При работе с осциллографом его пробник необходимо подключить к входу НЧ-фильтра (вывод IC3/3). Осциллограмма в этой точке напоминает осциллограмму модулированного ВЧ-сигнала. Далее, подстраивая катушку L1 и при необходимости подбирая емкости конденсаторов С1 и С2, нужно добиться того, чтобы частота модуляции (частота биений) была бы равна примерно 5-10 Гц.

При использовании цифрового частотомера для настройки металлоискателя частотомер следует подключить сначала к выводу 1 микросхемы IC3, а затем — к выводу 2 этой же микросхемы. Изменяя параметры указанных ранее элементов (индуктивность катушки L1, емкости конденсаторов С1 и С2), необходимо добиться того, чтобы разность частот сигналов в указанных точках составляла также примерно 5-10 Гц.

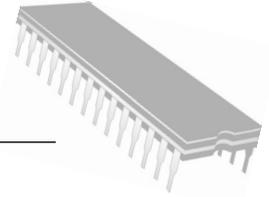
Подобрать нужную частоту биений можно и без осциллографа и частотомера. В таком случае обычно бывает достаточно настроить рабочую частоту опорного генератора. Для этого к выводу элемента IC3.1 (вывод IC3/3) нужно подключить высокоомные телефоны (например ТОН-2), а затем, регулируя подстроечный сердечник катушки L1, добиться появления в головных телефонах звукового сигнала. При этом ротор конденсатора С3 должен быть установлен в среднее положение. Затем, вращая подстроечный сердечник катушки L1, необходимо установить режим, при котором в телефонах будут прослушиваться щелчки, следующие с частотой в несколько герц. После настройки генератора подстроечный сердечник катушки L1 желательно зафиксировать с помощью капли клея.

Далее необходимо настроить компаратор напряжения. Для этого нужно подобрать величину резистора R9, показанного на рис. 3.6 штриховыми линиями. Его сопротивление может быть в пределах от 300 кОм до 1 МОм. Необходимо отметить, что резистор R9 следует включить между выводами 5, 6 элемента IC3.2 и общим проводом при наличии на выходе компаратора (выводы IC3/10,11) напряжения высокого уровня.

Порядок работы

При практическом использовании данного прибора следует переменным конденсатором С3 поддерживать необходимую частоту сигнала биений, которая может изменяться под влиянием различных факторов (например при изменении магнитных свойств грунта, температуры окружающей среды или разряде батареи).





Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L2 окажется какой-либо металлический предмет, то частота щелчков в головных телефонах изменится. При приближении к одним металлам она будет увеличиваться, а при приближении к другим — уменьшаться. По изменению частоты щелчков, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

Громкость щелчков регулируется переменным резистором R8.

3.5. Металлоискатель на микросхеме К176ЛП2

Простой и в то же время надежный и эффективный металлоискатель ВЧ0, работающий по принципу оценки изменений частоты сигнала биений, можно собрать всего на одной микросхеме К176ЛП2. В основу данного прибора была положена конструкция, которую еще в начале 90-х годов прошлого столетия предложил Р. Скетерис из литовского города Паневежис.

Принципиальная схема

Отличительной особенностью рассматриваемого детектора металлических предметов является не только применение микросхемы типа К176ЛП2, но также и схемотехнические решения, использованные при разработке генераторов и анализатора (рис. 3.8). При этом в данной конструкции оценка изменения частоты сигнала биений осуществляется на слух.

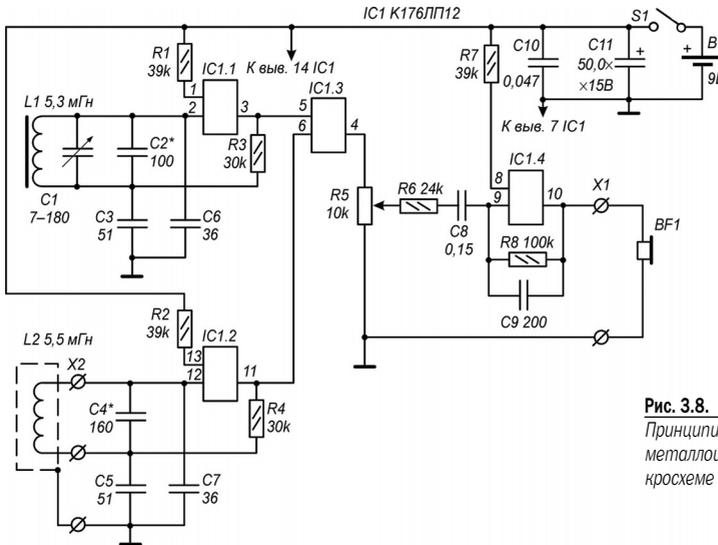


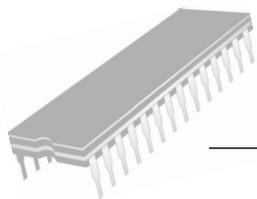
Рис. 3.8.
Принципиальная схема металлоискателя на микросхеме К176ЛП2

Основу данного устройства составляют опорный и измерительный генераторы, смеситель и схема акустической индикации.

В рассматриваемой конструкции использованы два простых LC-генератора, выполненные на элементах микросхемы IC1. Схемотехнические решения этих генераторов практически идентичны. При этом первый генератор, который является опорным, собран на элементе IC1.1, а второй, измерительный или перестраиваемый генератор, выполнен на элементе IC1.2.

Рабочая частота опорного генератора определяется параметрами элементов, образующих его колебательный контур, то есть емкостями конденсаторов C1 и C2, а также индуктивностью





катушки L1. В контуре измерительного генератора используются конденсатор C4 и поисковая катушка L2. При этом оба генератора настроены на рабочую частоту примерно 100 кГц.

При приближении поисковой катушки L2 колебательного контура перестраиваемого генератора к металлическому предмету ее индуктивность изменяется, что вызывает изменение рабочей частоты генератора. При этом, если вблизи катушки L2 находится предмет из черного металла, ее индуктивность увеличивается, что приводит к уменьшению частоты генератора. Цветной металл уменьшает индуктивность катушки L2, а рабочая частота генератора возрастает.

С выходов генераторов колебания ВЧ подаются на соответствующие входы смесителя, выполненного на элементе IC1.3 (выводы IC1/5,6). Нагрузкой смесителя является резистор R5, который одновременно выступает в роли регулятора громкости.

Затем сигнал низкой частоты через резистор R6 и конденсатор C8 поступает на усилитель НЧ, собранный на элементе IC1.4, и далее — на головные телефоны BF1.

Питание на микросхему IC1 подается от источника В1 напряжением 9 В через фильтр, образованный конденсаторами C10 и C11.

Детали и конструкция

Все детали рассматриваемого металлоискателя (за исключением поисковой катушки L2, резистора R5, разъемов X1 и X2, а также выключателя S1) размещены на печатной плате размерами 50x50 мм (рис. 3.9), изготовленной из одностороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Рекомендуется использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате. При этом плата рассчитана на установку постоянных резисторов типа МЛТ-0,125 или других малогабаритных (например МЛТ-0,25 или ВС-0,125). Конденсаторы C2-C7 могут быть типа КТ-1, конденсаторы C8-C10 — типа КМ-4 или К10-7В, а конденсатор C11 — типа К50-6.

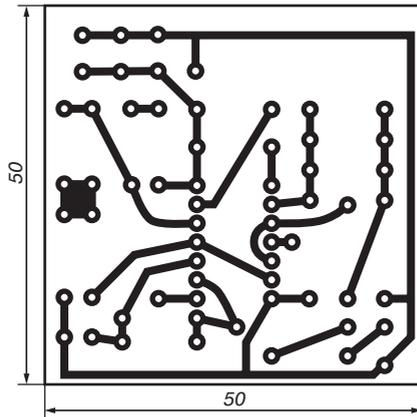
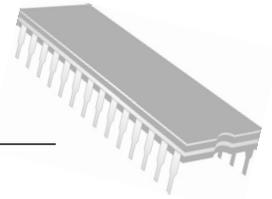
В качестве конденсатора C1 рекомендуется использовать любой конденсатор переменной емкости от малогабаритного радиоприемника (например от транзисторного приемника «Мир»). Можно использовать и подстроечные конденсаторы типа КПК-3 емкостью 25-150 пФ. Максимальная емкость конденсатора C1 должна быть не менее 150 пФ.

Переменный резистор R5 может быть любым малогабаритным, однако в качестве такого регулятора не рекомендуется использовать резисторы, механически соединенные с выключателем питания S1.

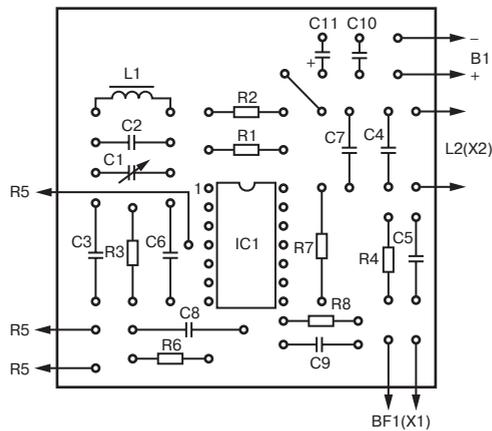
Катушка L1 контура опорного генератора выполнена на каркасе из кольцевого магнитопровода типа 600НН К8x6x2 и содержит 180 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,14 мм, которые равномерно наматываются по всему периметру магнитопровода.

Поисковая катушка L2 содержит 100 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,27 мм и выполнена в виде кольца диаметром 230-250 мм. Эту катушку проще изготовить на жестком каркасе, однако можно обойтись и без него. В таком случае в качестве временного каркаса можно использовать любой подходящий по размерам круглый предмет. Витки катушки наматываются внавал, после чего снимаются с каркаса и с целью повышения механической прочности пропитываются эпоксидным клеем. Затем катушка L2 экранируется электростатическим экраном, представляющим незамкнутую ленту из алюминиевой фольги, намотанную поверх жгута витков. Щель между началом и концом намотки ленты (зазор между концами экрана) должна составлять не менее 15-20 мм. При изготовлении катушки L2 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей ленты, поскольку в этом случае обра-





а



б

Рис. 3.9.
Печатная плата (а) и расположение элементов (б) металлоискателя на микросхеме К176ЛП2

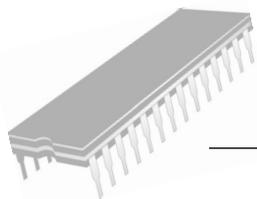
зается короткозамкнутый виток. Для защиты от повреждений фольгу можно обмотать одним-двумя слоями изоляционной ленты.

Источником звуковых сигналов могут служить высокоомные головные телефоны типа ТОН-2, ТА-4 или аналогичные.

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки типа 3336Л, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем металлическом корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменный резистор R5, разъем X1 для подключения головных телефонов BF1, разъем X2 для подключения поисковой катушки L2 и выключатель S1.





Налаживание

Данный прибор следует настраивать в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L2 на расстояние не менее 1,5 м.

С помощью частотомера или осциллографа необходимо настроить рабочие частоты опорного и измерительного генераторов. Частота опорного генератора устанавливается равной примерно 100 кГц подбором емкости конденсатора С2 и при необходимости регулировкой сердечника катушки L1. Предварительно ротор конденсатора С1 следует установить примерно в среднее положение. Далее подбором емкости конденсатора С4 частота измерительного генератора выбирается так, чтобы ее значение отличалось от частоты опорного генератора примерно на 500-1000 Гц.

На этом процесс настройки прибора заканчивается.

Порядок работы

При практическом использовании данного прибора следует переменным конденсатором С1 поддерживать необходимую частоту сигнала биений, которая может изменяться под влиянием различных факторов (например при изменении магнитных свойств грунта, температуры окружающей среды или разряде батареи).

Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L2 окажется какой-либо металлический предмет, то частота сигнала в телефонах изменится. При приближении к одним металлам частота сигнала биений будет увеличиваться, при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

С помощью данного прибора мелкие предметы (например монету средних размеров) можно обнаружить на глубине до 50 мм, а крышку канализационного люка — на глубине до 0,4 м.

3.6. Металлоискатель на трех микросхемах

В предыдущих разделах данной главы, при рассмотрении конструкций металлодетекторов типа ВFO (Beat Frequency Oscillator), в которых опорный и измерительный генераторы были собраны на элементах одной микросхемы, уже отмечались недостатки, свойственные подобным схемотехническим решениям. В первую очередь к ним относится возникновение паразитных связей между отдельными элементами внутри кристалла микросхемы, устранить которые практически невозможно. Именно поэтому в таких металлоискателях приходится выбирать частоту биений более 100-300 Гц, что неизбежно приводит к снижению чувствительности прибора. Поэтому все более популярными становятся устройства, работающие на основе анализа сигнала биений, в которых опорный и измерительный генераторы собраны на отдельных микросхемах.

Принципиальная схема

Предлагаемый прибор представляет собой один из вариантов металлодетекторов типа ВFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух сигналов, близких по частоте. При этом в данной конструкции оценка изменения частоты биений осуществляется на слух.

Основу данного устройства (рис. 3.10) составляют опорный и измерительный генераторы, согласующие каскады, смеситель и схема акустической индикации.



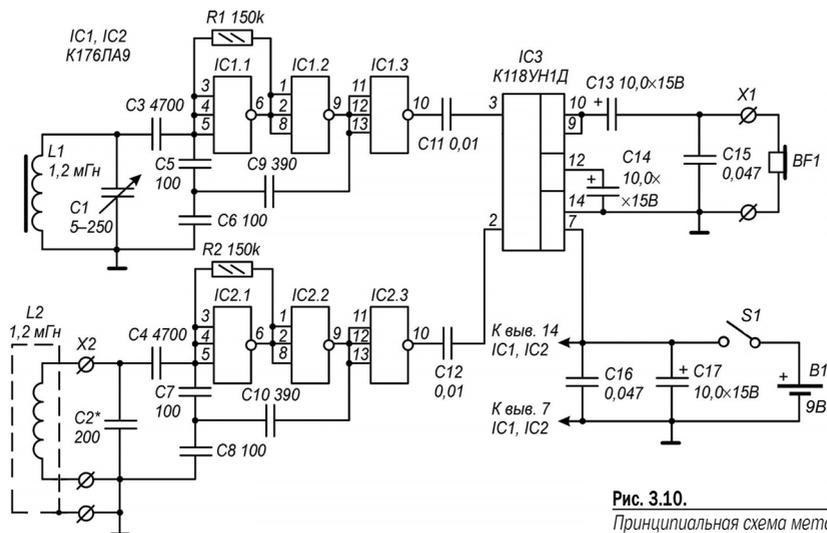
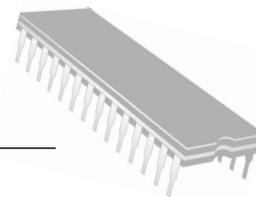


Рис. 3.10.
Принципиальная схема металлоискателя на трех микросхемах

В рассматриваемой конструкции в качестве опорного и измерительного генераторов использованы два простых LC-генератора. Схемотехнические решения этих генераторов практически идентичны. При этом опорный генератор собран на элементах IC1.1 и IC1.2 микросхемы IC1, а второй, измерительный или перестраиваемый, генератор выполнен на элементах IC2.1 и IC2.2 микросхемы IC2. Рабочая частота опорного генератора определяется параметрами элементов, образующих его колебательный контур, то есть емкостями конденсаторов C1, C3, C5 и C6, а также индуктивностью катушки L1. В контуре измерительного генератора используются конденсаторы C2, C4, C7, C8 и поисковая катушка L2. При этом оба генератора настроены на рабочую частоту примерно 300 кГц.

Каскады, выполненные на элементах IC1.3 и IC2.3, обеспечивают развязку между генераторами по переменному напряжению, а также ослабляют влияние смесителя на генераторы.

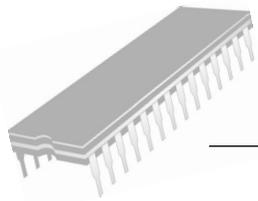
С выходов буферных каскадов сигналы ВЧ через конденсаторы C11 и C12 подаются на смеситель и далее на усилитель колебаний разностной частоты, которые выполнены на микросхеме IC3.

Затем сигнал биений поступает на головные телефоны BF1. При этом конденсатор C15 обеспечивает фильтрацию высокочастотной составляющей сигнала.

Питание на микросхемы подается от источника В1 напряжением 9 В через фильтр, образованный конденсаторами C16 и C17.

При приближении поисковой катушки L2 колебательного контура перестраиваемого генератора к металлическому предмету ее индуктивность изменяется, что вызывает изменение рабочей частоты генератора. Если вблизи катушки L2 находится предмет из магнитного металла, ее индуктивность увеличивается, что приводит к уменьшению частоты генератора. Цветной металл уменьшает индуктивность катушки L2, а рабочая частота генератора возрастает. По изменению частоты сигнала биений в головных телефонах можно сделать вывод о появлении в зоне действия поисковой катушки металлического предмета, а по увеличению или понижению тона — из какого металла изготовлен обнаруженный предмет.

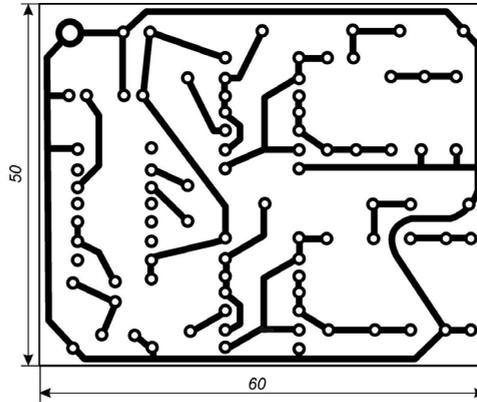




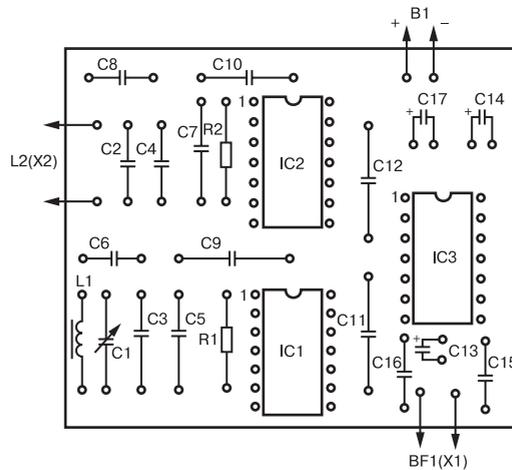
Детали и конструкция

Все детали рассматриваемого металлоискателя (за исключением поисковой катушки L2, разъемов X1 и X2, а также выключателя S1) расположены на печатной плате размерами 60х50 мм (рис. 3.11), изготовленной из одностороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

Рис. 3.11.
Печатная плата (а) и расположение элементов (б) металлоискателя на трех микросхемах



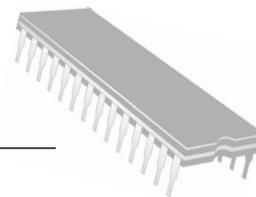
а



б

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Рекомендуется использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате. При этом плата рассчитана на установку постоянных резисторов типа МЛТ-0,125 или других малогабаритных (например МЛТ-0,25 или ВС-0,125). Конденсаторы C2, C5-C7 и C8 могут быть типа КТ-1, конденсаторы C3, C4, C9-C12, C15 и C16 — типа КМ-4 или К10-7В, а конденсаторы C13 и C17 — типа К50-6.





В качестве конденсатора С1 рекомендуется использовать любой конденсатор переменной емкости от малогабаритного радиоприемника (например, от транзисторного приемника «Планета»). Можно использовать и подстроечные конденсаторы типа КПК-3 емкостью 25-150 пФ. Максимальная емкость конденсатора С1 должна быть не менее 200 пФ.

Катушка L1 контура опорного генератора выполнена на каркасе из кольцевого магнитопровода типа 600НН К8х6х2 и содержит 50 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,2 мм, которые равномерно наматываются по всему периметру магнитопровода.

Поисковая катушка L2 содержит 50 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,27 мм и выполнена в виде кольца диаметром 180-220 мм. Эту катушку проще изготовить на жестком каркасе, однако можно обойтись и без него. В таком случае в качестве временного каркаса можно использовать любой подходящий по размерам круглый предмет.

Витки катушки наматываются внавал, после чего снимаются с каркаса и с целью повышения механической прочности пропитываются эпоксидным клеем. Затем катушка L2 экранируется электростатическим экраном, представляющим незамкнутую ленту из алюминиевой фольги, намотанную поверх жгута витков. Щель между началом и концом намотки ленты (зазор между концами экрана) должна составлять не менее 15-20 мм.

При изготовлении катушки L2 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей ленты, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток. Для защиты от повреждений фольгу можно обмотать одним-двумя слоями изоляционной ленты.



Источником звуковых сигналов могут служить высокоомные головные телефоны типа ТОН-2, ТА-4 или аналогичные.

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки типа 3336Л, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем металлическом корпусе. На крышке корпуса устанавливаются: разъем Х1 для подключения головных телефонов ВФ1, разъем Х2 для подключения поисковой катушки L2 и выключатель S1.

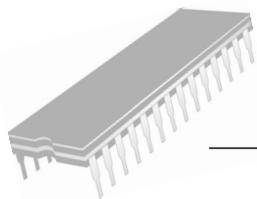
Налаживание

Данный металлоискатель следует настраивать в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L2 на расстояние не менее 1,5 м.

Непосредственная настройка прибора заключается в выборе нужной частоты биений. Для этого рекомендуется воспользоваться осциллографом или цифровым частотомером. В первую очередь следует установить частоту опорного генератора, контролируя ее значение на выводе 10 микросхемы IC1. Частота опорного генератора устанавливается равной примерно 300 кГц подбором емкостей конденсаторов С5 и С6, а также, при необходимости, регулировкой сердечника катушки L1. Предварительно ротор конденсатора С1 следует установить примерно в среднее положение. Далее, подбирая емкость конденсатора С2, следует установить частоту измерительного генератора, контролируя ее значение на выводе 10 микросхемы IC2. При этом частота измерительного генератора выбирается так, чтобы ее значение отличалось от частоты опорного генератора примерно на 500-1000 Гц.

На этом процесс настройки прибора заканчивается.





Порядок работы

Практическое использование рассматриваемого металлодетектора не имеет существенных отличий от порядка работы с другими устройствами ВFO, в которых оценка наличия металлического предмета в зоне действия поисковой катушки осуществляется на слух.

Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L2 окажется какой-либо металлический предмет, то частота сигнала биений в головных телефонах изменится. При приближении к одним металлам частота сигнала будет увеличиваться, при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.

Переменным конденсатором С1 поддерживается необходимая частота сигнала биений, которая может изменяться под влиянием различных факторов (например при изменении магнитных свойств грунта, температуры окружающей среды или разряде батареи).

С помощью данного прибора мелкие предметы (например монету средних размеров) можно обнаружить на глубине до 60-70 мм, а крышку канализационного люка — на глубине до 0,5 м.

3.7. Металлоискатель с кварцевой стабилизацией

В последнее время на прилавках радиорынков можно найти всевозможные конструкторы или наборы комплектующих деталей, приобретая которые любой желающий без особых усилий быстро соберет простейший металлодетектор. В процессе работы над данной книгой автор имел удовольствие ознакомиться с несколькими детско-юношескими конструкторами, которые можно рекомендовать и взрослым.

Основой для одного из таких наборов послужила схема металлодетектора, впервые опубликованная в конце 80-х годов прошлого столетия и после этого с различными изменениями и дополнениями не раз публиковавшаяся в различных отечественных и зарубежных изданиях.

Принципиальная схема

Рассматриваемый металлодетектор представляет собой один из многочисленных вариантов прибора типа ВFO (Beat Frequency Oscillator), то есть является устройством, в основу которого положен принцип анализа биений двух частот. При этом в данной конструкции оценка изменения частоты осуществляется на слух.

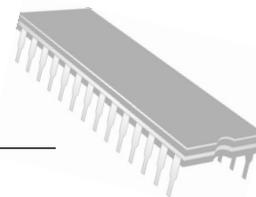


Как известно, в определенной степени повысить чувствительность металлоискателя типа ВFO можно, если выбрать значение частоты опорного генератора в 5-10 раз больше, чем значение частоты измерительного генератора. В этом случае оценивается изменение частоты биений, которые возникают между колебаниями основной частоты опорного генератора и ближайшей по частоте гармоникой частоты измерительного генератора. В результате изменение частоты измерительного генератора под влиянием внешних воздействий всего на 10 Гц приводит к увеличению частоты разностных колебаний на 50-100 Гц.

Таким образом, при выборе частоты измерительного генератора в пределах 100-200 кГц частота опорного генератора должна составлять 500-2 000 кГц. Необходимо отметить, что частота опорного генератора должна быть стабилизирована.

Основу схемы этого прибора (рис. 3.12) составляют измерительный и опорный генераторы, буферные каскады, смеситель и схема акустической индикации.





Опорный генератор выполнен на элементах IC1.1 и IC1.2 микросхемы IC1, его рабочая частота стабилизирована кварцевым резонатором Q1 (1 МГц). Измерительный или перестраиваемый генератор выполнен на элементах IC2.1 и IC2.2 микросхемы IC2. Рабочая частота этого генератора определяется параметрами элементов, образующих его колебательный контур, то есть емкостями конденсаторов C2, C3 и варикапа D1, а также индуктивностью катушки L1. При этом изменение емкости варикапа D1 осуществляется с помощью переменного резистора R2. Рабочая частота измерительного генератора находится в пределах 200-500 кГц.

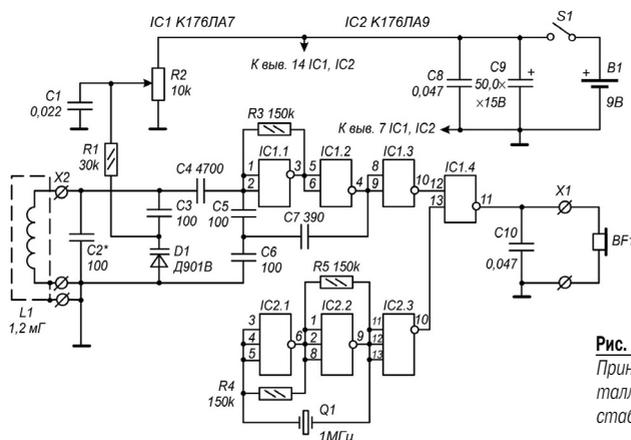


Рис. 3.12.
Принципиальная схема металлоискателя с кварцевой стабилизацией

Катушка L1 колебательного контура перестраиваемого генератора является поисковой катушкой. При приближении к металлическому предмету индуктивность катушки изменяется, что приводит к изменению рабочей частоты генератора и соответственно к изменению частоты биений.

Каскады, выполненные на элементах IC1.3 и IC2.3, обеспечивают развязку между генераторами по переменному напряжению, а также ослабляют влияние смесителя на генераторы. С выходов буферных каскадов сигналы ВЧ подаются на смеситель, выполненный на элементе IC1.4. Далее сигнал биений поступает на головные телефоны BF1. При этом конденсатор C10 обеспечивает фильтрацию высокочастотной составляющей сигнала.

Питание на схему подается от источника В1 напряжением 9 В через фильтр, образованный конденсаторами C8 и C9.

Детали и конструкция

Все детали рассматриваемого прибора (за исключением поисковой катушки L1, резистора R2, разъемов X1 и X2, а также выключателя S1) расположены на печатной плате размера 50x50 мм (рис. 3.13), изготовленной из одностороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Рекомендуется использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате. При этом плата рассчитана на установку постоянных резисторов типа МЛТ-0,125 или других малогабаритных (например МЛТ-0,25 или ВС-0,125). Конденсаторы C2, C3, C5 и C7 могут быть типа КТ-1, конденсаторы C4, C7, C8 и C10 — типа КМ-4 или К10-7В, а конденсатор C9 — типа К50-6.



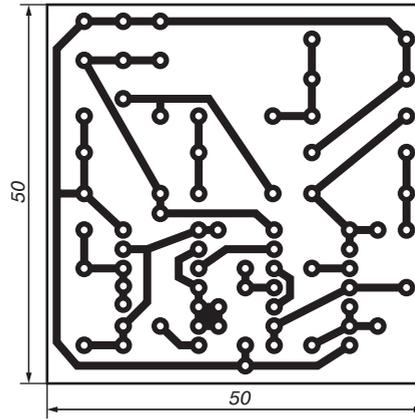
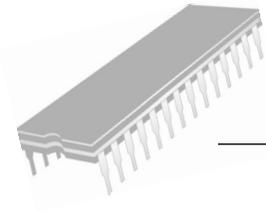
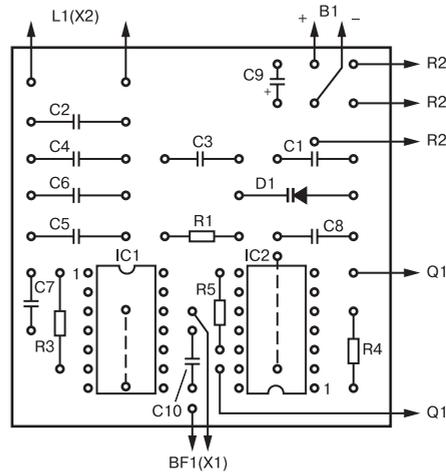


Рис. 3.13.
Печатная плата (а) и расположение элементов (б) металлоискателя с кварцевой стабилизацией

а

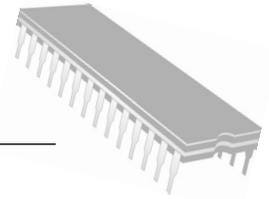


б

Переменный резистор R2 может быть любым малогабаритным, однако в качестве такого регулятора не рекомендуется использовать резисторы, механически соединенные с выключателем питания S1.

Кварцевый резонатор Q1 смонтирован на отдельной плате из стеклотекстолита, закрепленной параллельно основной со стороны деталей. Его частота может быть любой в пределах 0,5-1,8 МГц. Однако в том случае, если будет использоваться кварц с частотой резонанса больше 1 МГц, в некоторых источниках рекомендуется между выходом буферного элемента IC2.3 (вывод IC2/10) и соответствующим входом смесителя на элементе IC1.4 (вывод IC1/13) включить делитель частоты, понижающий образцовую частоту до 0,5-1 МГц. Такой делитель можно выполнить на микросхеме серии K176 или K561.





Поисковая катушка L1 содержит 50 витков провода ПЭЛШО диаметром 0,27 мм и выполнена в виде кольца диаметром 180-220 мм. Эту катушку проще изготовить на жестком каркасе, однако можно обойтись и без него. В таком случае в качестве временного каркаса можно использовать любой подходящий по размерам круглый предмет. Витки катушки наматываются внавал, после чего снимаются с каркаса и с целью повышения механической прочности пропитываются эпоксидным клеем. Затем катушка L1 экранируется электростатическим экраном, представляющим незамкнутую ленту из алюминиевой фольги, намотанную поверх жгута витков. Щель между началом и концом намотки ленты (зазор между концами экрана) должна составлять не менее 15-20 мм. При изготовлении катушки L1 нужно особенно следить за тем, чтобы не произошло замыкание концов экранирующей ленты, поскольку в этом случае образуется короткозамкнутый виток. Для защиты от повреждений фольгу можно обмотать одним-двумя слоями изоляционной ленты.

Источником звуковых сигналов могут служить высокоомные головные телефоны типа ТОН-2, ТА-4 или аналогичные.

В качестве источника питания В1 можно использовать, например, батарейку «Крона» или две батарейки типа 3336Л, соединенные последовательно.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем металлическом корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменный резистор R2, разъем X1 для подключения головных телефонов BF1, разъем X2 для подключения поисковой катушки L1 и выключатель S1.

Налаживание

Данный прибор следует настраивать в условиях, когда металлические предметы удалены от поисковой катушки L1 на расстояние не менее 1,5 м.

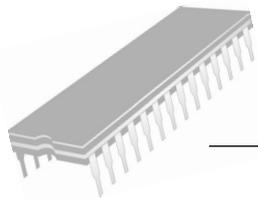
Процесс настройки металлоискателя заключается в настройке измерительного генератора на частоту 100-200 кГц, что осуществляется подбором величины емкости конденсатора С2. При этом движок переменного резистора R2 должен находиться в среднем положении. Частота измерительного генератора контролируется частотомером на выходе элемента IC1.3 (вывод IC1/10). Контроль правильности выбранного значения частоты измерительного генератора осуществляется прослушиванием сигнала разностной частоты в головных телефонах. Этот сигнал должен быть достаточно громким при возможно большем соотношении частот опорного и измерительного генераторов. При необходимости для оценки амплитуды сигнала биений можно использовать осциллограф.

Порядок работы

При практическом использовании данного прибора следует переменным резистором С1 поддерживать необходимую частоту сигнала биений, которая может изменяться под влиянием различных факторов (например при изменении магнитных свойств грунта, температуры окружающей среды или разряде батареи).

Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L1 окажется какой-либо металлический предмет, то частота сигнала в телефонах изменится. При приближении к одним металлам частота сигнала биений будет увеличиваться, при приближении к другим — уменьшаться. По изменению тона сигнала биений, имея определенный опыт, можно легко определить, из какого металла, магнитного или немагнитного, изготовлен обнаруженный предмет.





С помощью данного прибора мелкие предметы (например монету средних размеров) можно обнаружить на глубине до 80-100 мм, а крышку канализационного люка — на глубине до 55-65 см.

3.8. Простой импульсный металлоискатель

В последнее время сравнительно широкое распространение получили импульсные металлоискатели типа PI (Puls Induction), в которых для оценки наличия металлических предметов в зоне поиска используется явление возникновения вихревых поверхностных токов в металлическом предмете под воздействием внешнего электромагнитного поля.

В металлодетекторах типа PI импульсный сигнал подается на передающую катушку, в которой инициируется переменное электромагнитное поле. При появлении в зоне действия этого поля металлического предмета на его поверхности периодически, под воздействием импульсного сигнала, возникают вихревые токи. Эти токи и являются источником вторичного сигнала, который принимается приемной катушкой. Благодаря явлению самоиндукции форма вторичного сигнала будет отличаться от формы излученного передающей катушкой импульса. При этом отличия в параметрах вторичного импульсного сигнала и используются для анализа с последующим формированием данных для блока индикации. Во всех известных автору импульсных металлодетекторах оценивается изменение формы заднего фронта вторичного импульса. О достоинствах и недостатках импульсных детекторов металлических предметов коротко было рассказано в первой главе предлагаемой книги.

Следует признать, что с каждым годом количество различных схемотехнических решений металлоискателей типа PI значительно увеличивается. Однако ограниченный объем данного издания не позволяет подробно рассмотреть даже самые интересные конструкции. Поэтому автор решил ознакомить читателей лишь с несколькими приборами этого типа.



В рассматриваемом в этом разделе устройстве используется микропроцессор с соответствующим программным обеспечением. К сожалению, к моменту издания этой книги опубликовать на 100% работоспособную версию его прошивки не представилось возможным. Поэтому заинтересованные и подготовленные читатели имеют возможность проверить свои силы в создании прошивки для микроконтроллера. Автор ни секунды не сомневается в том, что российские умельцы с честью справятся с этой задачей.

Тем не менее, по мнению автора, конструкция предлагаемого металлоискателя достаточно сложна для повторения начинающими радиолюбителями. Также следует упомянуть и о сложностях, возникающих при регулировке этого устройства. Необходимо особо обратить внимание на то, что ошибки при монтаже и некорректная настройка прибора могут привести к выходу из строя дорогостоящих элементов.

Принципиальная схема

Принципиальную схему предлагаемого простого импульсного металлоискателя условно можно разделить на две части, а именно: на блок передатчика и блок приемника. К сожалению, ограниченный объем данной книги не позволяет подробно остановиться на всех особенностях схемотехнических решений, использованных при создании данного прибора. Поэтому далее будут рассмотрены основы функционирования лишь наиболее важных узлов и каскадов.



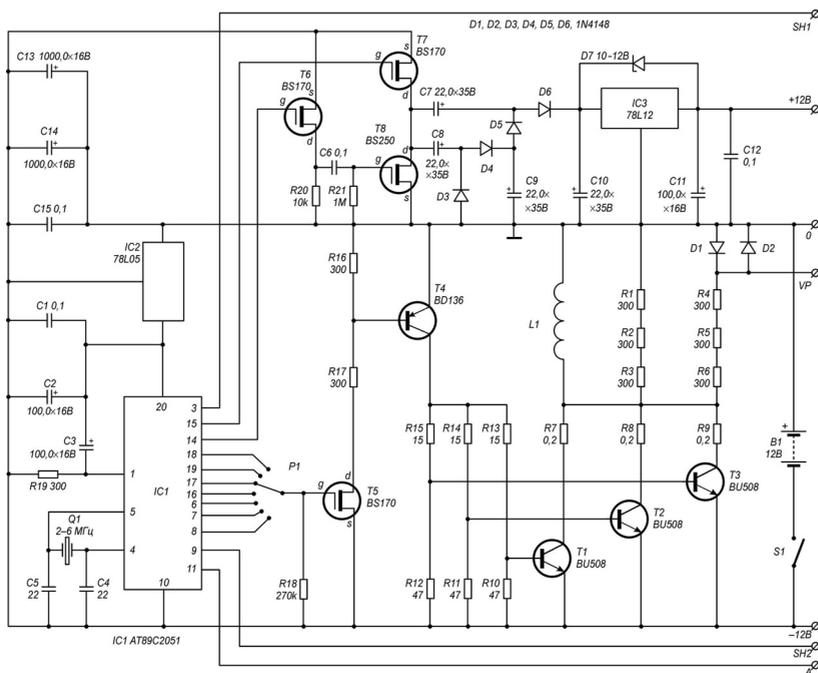
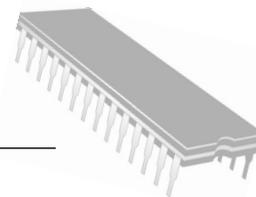


Рис. 3.14.
Принципиальная
схема блока передатчика простого
импульсного металлоискателя

В состав блока передатчика (рис. 3.14) входят модуль формирования импульсов и синхронизации, сам передатчик, а также преобразователь напряжения.

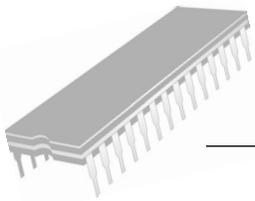
Главной составной частью всей конструкции является модуль формирования импульсов и синхронизации, выполненный на микропроцессоре IC1 типа AT89C2051 фирмы ATMEL и обеспечивающий формирование импульсов для передатчика, а также сигналов, управляющих работой всех остальных блоков. Рабочая частота микроконтроллера IC1 стабилизирована кварцевым резонатором (3,5 МГц). При указанном значении рабочей частоты микропроцессор формирует периодическую последовательность управляющих импульсов для различных каскадов металлодетектора. Эта последовательность состоит из 250 тактов длительностью по 9 мкс каждый.

Первоначально на выводе IC1/14 микропроцессора формируется управляющий импульс для транзистора T6, после окончания которого на выводе IC1/15 формируется аналогичный импульс для транзистора T7. Затем этот процесс повторяется еще один раз. В результате происходит запуск преобразователя напряжения.

Далее, последовательно на выводах IC1/8, IC1/7, IC1/6, IC1/16, IC1/17, IC1/19 и IC1/18 формируются импульсы запуска передатчика. При этом указанные импульсы имеют одинаковую длительность, но каждый последующий импульс задержан относительно предыдущего на несколько тактов. Начало первого импульса, сформированного на выводе IC1/8, совпадает с окончанием второго импульса на выводе IC1/15. С помощью переключателя P1 можно выбрать время задержки импульса запуска передатчика по отношению к стартовому импульсу.

Через несколько тактов после окончания импульса на выводе IC1/18 короткий стробирующий импульс для одного из каналов анализатора формируется на выводе IC1/3. Затем аналогичный импульс, предназначенный для второго канала анализатора, формируется на выводе IC1/9. После этого на выводе IC1/11 формируется управляющий сигнал для транзистора T10 схемы акустической сигнализации блока приемника.





Затем, после небольшой паузы, последовательность управляющих импульсов на соответствующих выходах микроконтроллера формируется вновь.

Питающее напряжение +5 В, предварительно стабилизированное микросхемой IC2, подается на вывод IC1/20 микроконтроллера.

Преобразователь напряжения, выполненный на транзисторах Т6-Т8 и стабилизаторе IC3, обеспечивает формирование двуполярного питающего напряжения 12 В, необходимого для питания каскадов приемной части. Управляющие сигналы для транзисторов Т7 и Т8 формируются на соответствующих выводах микроконтроллера IC1. При этом на транзистор Т8 этот сигнал подается через преобразователь уровня, собранный на транзисторе Т6. Далее сформированное питающее напряжение стабилизируется микросхемой IC3, с выхода которой напряжение +12 В поступает на каскады приемной части.

Выходные каскады передатчика выполнены на мощных транзисторах Т1, Т2 и Т3, работающих на общую нагрузку, в качестве которой выступает катушка L1, шунтированная цепочкой резисторов R1-R6. Работой транзисторов выходного каскада управляет транзистор Т4. Управляющий сигнал на базу транзистора Т4 подается с соответствующего выхода процессора IC1 через транзистор Т5.

Импульс, формируемый микропроцессором IC1 в соответствии с заложенной в его памяти программой, через переключатель подается на вход транзистора Т5 и далее, через транзистор Т4, на выходные каскады передатчика, выполненные на транзисторах Т1-Т3, а затем — на приемопередающую катушку L1. При появлении в зоне действия катушки L1 металлического предмета на его поверхности под воздействием внешнего электромагнитного поля, инициированного импульсом передатчика, возбуждаются вихревые поверхностные токи. Время существования этих токов зависит от длительности импульса, излучаемого катушкой L1.

В свою очередь поверхностные токи являются источником вторичного импульсного сигнала, который с соответствующей задержкой принимается катушкой L1, усиливается и подается на схему анализа. Необходимо отметить, что благодаря явлению самоиндукции длительность вторичного сигнала будет больше, чем длительность излученного передающей катушкой импульса. При этом форма вторичного импульса зависит от свойств металла, из которого изготовлен обнаруженный предмет. Обработка информации об отличиях параметров импульсов, излученных и принятых катушкой L1, обеспечивает формирование данных для блока индикации о наличии металлического предмета. В рассматриваемом металлоискателе для анализа используются параметры заднего фронта вторичного импульсного сигнала.

В состав блока приемника (рис. 3.15) входят двухкаскадный усилитель входного сигнала, анализатор и схема звуковой индикации.

Сигнал от металлического предмета принимается катушкой L1 и через схему защиты, выполненную на диодах D1 и D2, подается на входной двухкаскадный усилитель с емкостной обратной связью, выполненный на операционных усилителях IC4 и IC5. С выхода микросхемы IC5 (вывод IC5/6) усиленный импульсный сигнал подается на схему анализатора, выполненную на микросхемах IC6-IC8.

Усилители IC6 и IC7 в процессе работы прибора постоянно выключены, и напряжение питания подается на них лишь при поступлении на соответствующие входы (выводы IC6/8 и IC7/8) стробирующих импульсов, длительность каждого из которых составляет 9 мкс (один такт). При этом на усилитель IC6 подается стробирующий импульс, задержанный по отношению к окончанию выбранного импульса запуска передатчика на 30-100 мкс, а на усилитель IC7 — задержанный по отношению к окончанию первого стробирующего импульса на 200 мкс. Необходимость такой задержки объясняется тем, что форма принятого сигнала зависит от влияния многих посторонних факторов, поэтому полезный сигнал можно наблюдать лишь в промежутке примерно 400 мкс после окончания им-



ПРОСТЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЬ

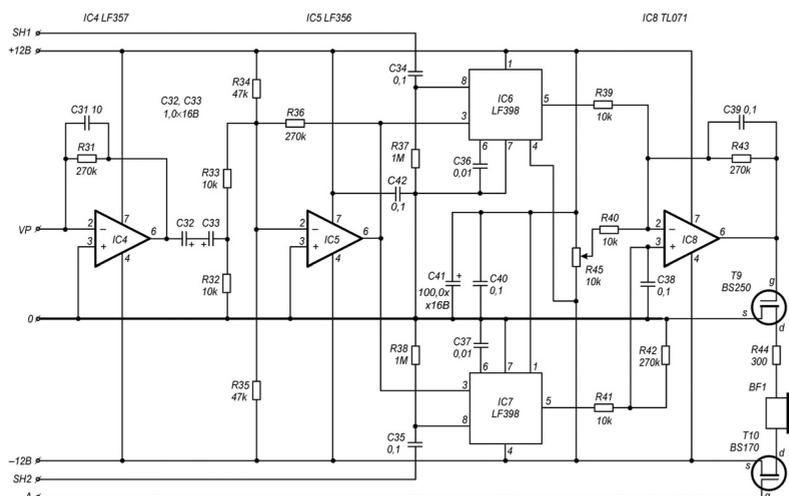
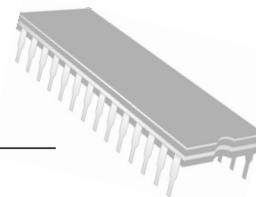


Рис. 3.15.
Принципиальная
схема блока при-
емника простого
импульсного ме-
таллоискателя

пульса. В данном случае полезным сигналом является возрастание положительного напряжения при приближении катушки L1 к металлическому предмету в результате увеличения длительности заднего фронта вторичного импульса в сравнении с излученным импульсом.

По окончании подачи напряжения питания на выходах каждого усилителя (микросхемы IC6 и IC7) в течение нескольких секунд сохраняется уровень принятого сигнала, зафиксированный во время воздействия стробирующих импульсов.

Таким образом на один из входов соответствующего усилителя (выводы IC6/3 и IC7/3) подается принятый импульсный сигнал, а на второй вход этого же усилителя (выводы IC6/8 и IC7/8) через конденсаторы C34 и C35 поступает соответствующий стробирующий импульс от модуля формирования импульсов и синхронизации (выводы IC1/3 и IC1/9).

Сигналы, сформированные на выходах микросхем IC6 и IC7 (выводы IC6/5 и IC7/5), далее подаются на соответствующие входы дифференциального усилителя, выполненного на микросхеме IC8. При этом сигнал с выхода усилителя IC6 проходит через переменный резистор R45, с помощью которого регулируется чувствительность прибора. При наличии в зоне действия металлодетектора металлического предмета уровни сигналов на соответствующих входах дифференциального усилителя (выводы IC8/2 и IC8/3) будут одинаковыми. В результате выходной сигнал этого усилителя (вывод IC8/6) будет низким.

Падение напряжения на выходе усилителя IC8 приводит к открытию транзистора T9 и подключению к общему проводу головных телефонов BF1. При поступлении с соответствующего выхода микроконтроллера (вывод IC1/11) на транзистор T10 управляющего сигнала в телефонах будет прослушиваться сигнал звуковой частоты. Резистор R44 ограничивает ток, протекающий через головные телефоны BF1. Его подбором можно регулировать громкость акустического сигнала.

Питание данного металлодетектора осуществляется от источника В1 напряжением 12 В.

Детали и конструкция

Все детали рассматриваемого прибора (за исключением поисковой катушки L1, резистора R45, переключателя P1, а также выключателя S1) расположены на печатной плате размерами 105x65 мм (рис. 3.16), изготовленной из двустороннего фольгированного гетинакса или текстолита.



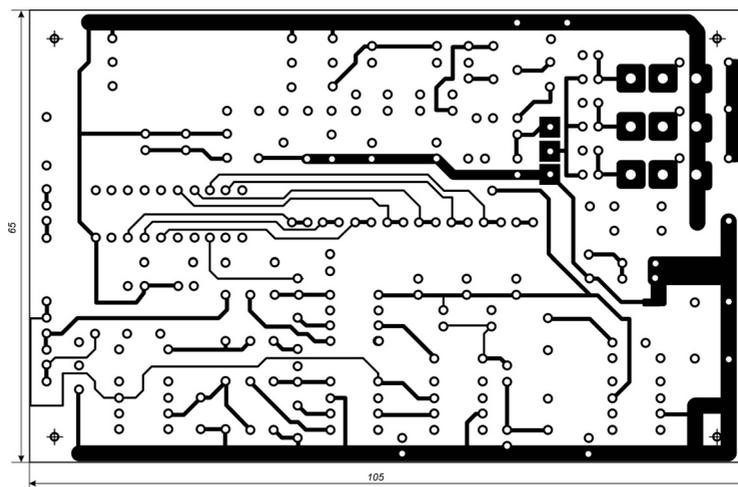
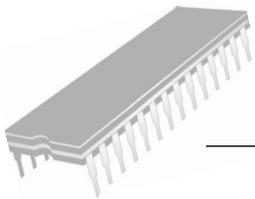
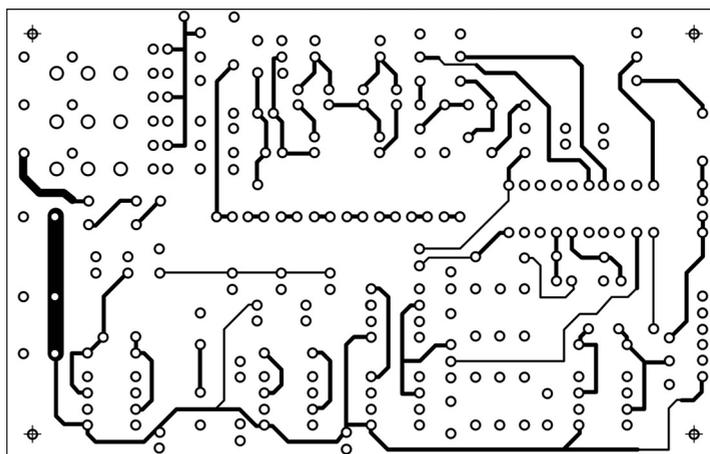


Рис. 3.16.

Печатная плата простого импульсного металлоискателя

а



б

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Рекомендуется использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате (рис. 3.17).

Микросхему типа LF357 (IC4) можно заменить на LM318 или NE5534, однако в результате такой замены могут возникнуть проблемы с налаживанием. В качестве усилителя IC5 помимо указанной на схеме микросхемы типа LF356 можно использовать микросхему CA3140. Микросхемы типа LF398 (IC6, IC7) без проблем заменяются на MAC198. Вместо усилителя CA3140 (IC8) можно применить микросхему TL071.

В качестве транзисторов T1-T3, помимо указанных на принципиальной схеме, можно использовать транзисторы типа BU2508, BU2515 или ST2408.

Рабочая частота кварцевого резонатора должна составлять 3,5 МГц. Однако можно использовать любой другой кварцевый элемент с частотой резонанса от 2 до 6 МГц.



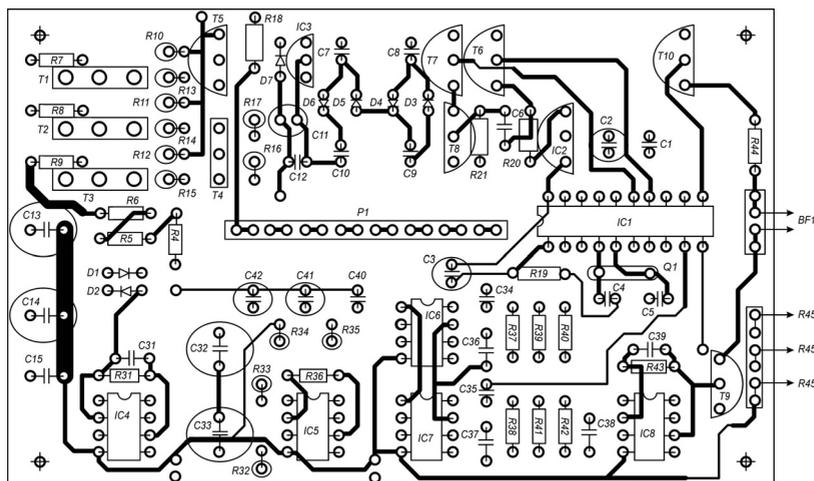
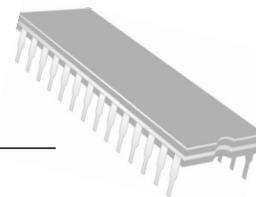


Рис. 3.17.
Расположение элементов простого импульсного металлоискателя

Для монтажа микропроцессора IC1 следует использовать специальную панельку. При этом микроконтроллер устанавливается на плату только после окончания всех монтажных работ. Данное условие необходимо соблюдать и при проведении регулировочных работ, связанных с выполнением пайки при подборе величин отдельных элементов.

Особое внимание следует уделить изготовлению катушки L1, индуктивность которой должна составлять 500 мкГ. Катушка L1 выполнена в виде кольца диаметром 250 мм и содержит 30 витков провода диаметром не более 0,5 мм. При использовании провода большего диаметра ток в катушке возрастет, однако еще быстрее будут расти значения паразитных вихревых токов, что приведет к ухудшению чувствительности прибора.



Для изготовления катушки не рекомендуется использовать лакированный провод, поскольку разность потенциалов между соседними витками при излучении импульса достигает 20 В. Если в процессе намотки витков катушки рядом окажутся проводники, например первого и пятого витков, пробой изоляции практически обеспечен. Это может привести к выходу из строя транзисторов передатчика и других элементов. Поэтому провод, используемый при изготовлении катушки L1, должен быть хотя бы в полихлорвиниловой изоляции. Готовую катушку также рекомендуется хорошо изолировать. Для этого можно воспользоваться эпоксидной смолой или различными пенными наполнителями.

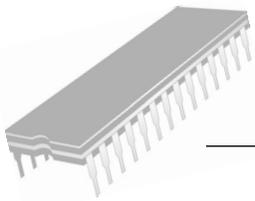
Катушку L1 следует подключать к плате с помощью двужильного хорошо изолированного провода, диаметр каждой жилы которого должен быть не меньше диаметра провода, из которого изготовлена сама катушка. Не рекомендуется использовать коаксиальный кабель из-за его значительной собственной емкости.

Источником звуковых сигналов могут служить либо головные телефоны с сопротивлением от 8 до 32 Ом, либо малогабаритный громкоговоритель с аналогичным сопротивлением катушки.

В качестве источника питания В1 рекомендуется использовать аккумуляторную батарею емкостью около 2 А/ч, поскольку величина тока, потребляемого данным металлоискателем, — не менее 200 мА.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переменный резистор R45, переключатель P1, разъемы для подключения головных телефонов BF1 и катушки L1, а также выключатель S1.





Налаживание

Данный прибор следует настраивать в условиях, когда любые металлические предметы удалены от поисковой катушки L1 на расстояние не менее 1,5 м.



Особенность настройки и регулировки рассматриваемого металлоискателя заключается в том, что его отдельные блоки и каскады подключаются постепенно. При этом каждая операция подключения (пайка) выполняется при отключенном источнике питания.

В первую очередь требуется проверить наличие и величину питающего напряжения на соответствующих контактах панельки микросхемы IC1 в отсутствие микроконтроллера. Если напряжение питания в норме, то далее следует установить на плату микропроцессор и с помощью частотомера или осциллографа проверить сигнал на выводах IC1/4 и IC1/5. Частота пилот-сигнала на указанных выводах должна соответствовать рабочей частоте используемого кварцевого резонатора.

После подключения транзисторов преобразователя напряжения (без нагрузки) потребляемый ток должен возрасти на 50 мА. Напряжение на конденсаторе C10 в отсутствие нагрузки должно составлять около 20 В.

Затем следует подключить каскады передатчика. Режимы работы транзисторов T1-T4 должны быть одинаковыми и устанавливаются подбором величин резисторов R13-R16.

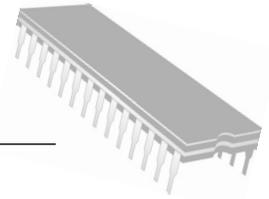
Сопротивление катушки L1, зашунтированной резисторами R1-R3, должно составлять примерно 500 Ом. При этом выводы катушки и резисторов должны быть хорошо пропаяны, поскольку нарушение контакта в этой цепи влечет за собой выход из строя выходных транзисторов передатчика.

Для проверки работоспособности каскадов передатчика можно придержать катушку L1 возле уха и включить питание металлоискателя. Примерно через полсекунды (после обнуления микроконтроллера) можно будет услышать сигнал низкого тона, возникновение которого обусловлено микровибрацией отдельных витков катушки. При этом на коллекторах транзисторов T1-T3 будет сформирован немодулированный остроконечный импульс длительностью около 10-20 мкс, форму которого можно проконтролировать с помощью осциллографа. Увеличение сопротивления резисторов R1-R3 приводит к возрастанию амплитуды выходного импульса с уменьшением его длительности. Для подбора величины сопротивления шунта катушки L1 не рекомендуется использовать переменный резистор, поскольку даже кратковременное нарушение контакта движка с токопроводящей дорожкой может привести к выходу из строя выходных транзисторов передатчика. Поэтому желательно постепенно изменять величину шунта с шагом 50 Ом. Перед заменой деталей напряжение питания прибора нужно обязательно выключать.

Далее можно приступать к налаживанию приемной части. Если все детали исправны, а монтаж выполнен безошибочно, то после включения металлодетектора (примерно через 20 мкс после окончания стартового импульса) на выходе микросхемы IC4 (вывод IC4/6) с помощью осциллографа можно будет наблюдать экспоненциально возрастающий сигнал, переходящий в сигнал постоянного уровня. Искажения фронта этого сигнала устраняются подбором резисторов R1-R3, шунтирующих катушку L1. После этого следует проконтролировать форму и амплитуду сигнала на выходе микросхемы IC5 (вывод IC5/6). Максимальная амплитуда этого сигнала устанавливается подбором величины резистора R36.

На выходе микросхемы IC6 (вывод IC6/5) должен формироваться постоянный сигнал, зависящий от импульса, выбранного с помощью переключателя P1, а также от наличия в зоне действия катушки L1 металлических предметов. В идеальном варианте этот сигнал должен быть близким к нулю при всех положениях переключателя P1.





В заключение остается правильно установить положение образцового измерительного импульса по отношению к стартовому импульсу. Для этого достаточно подбором кварцевого резонатора Q1 выбрать подходящую рабочую частоту.

Порядок работы

Перед практическим использованием данного металлоискателя следует переключателем P1 установить минимальную задержку импульса, а резистором R45 — максимальную чувствительность. Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L1 окажется металлический предмет, то в головных телефонах появится акустический сигнал.

Необходимо отметить, что переход в режим работы с большей задержкой импульса обеспечит исключение влияния не только магнитных свойств грунта, но и избавит от реакции прибора на всевозможные посторонние предметы (ржавые гвозди, фольга от сигаретных пачек и т.п.) и последующих напрасных поисков.

3.9. Усовершенствованный импульсный металлоискатель

Как и металлоискатели других типов, металлодетекторы типа PI (Puls Induction), постоянно совершенствуются. В результате применения новых схемотехнических решений удается добиться еще более высокой чувствительности этих приборов. Так, например, можно улучшить чувствительность детектора металлических предметов, описанного в предыдущем разделе.

По мнению автора, конструкция предлагаемого прибора, как и рассмотренного в предыдущем разделе металлоискателя, достаточно сложна для повторения начинающими радиолюбителями. К тому же определенные сложности могут возникнуть при регулировке этого устройства. Необходимо особо обратить внимание на то, что ошибки при монтаже и некорректная настройка прибора могут привести к выходу из строя дорогостоящих элементов.



В рассматриваемом в этом разделе устройстве используется микропроцессор с соответствующим программным обеспечением. К сожалению, к моменту издания этой книги опубликовать на 100 % работоспособную версию прошивки не представилось возможным. Поэтому заинтересованные и подготовленные читатели имеют возможность проверить свои силы в создании прошивки для микроконтроллера.

Принципиальная схема

Принципиальную схему предлагаемого усовершенствованного импульсного металлоискателя можно условно разделить на две части, а именно: на блок передатчика и блок приемника. К сожалению, ограниченный объем данной книги не позволяет подробно остановиться на всех особенностях схемотехнических решений, использованных при создании этого прибора. Поэтому далее будут рассмотрены основы функционирования лишь наиболее важных узлов и каскадов.

Как уже упоминалось, данный металлодетектор является усовершенствованным вариантом прибора, рассмотренного в предыдущем разделе этой главы. Определенные изменения коснулись модуля формирования импульсов и синхронизации, передатчика и преобразователя напряжения. Схема блока приемника претерпела более значительные изменения (рис. 3.18).

В состав блока передатчика входят модуль формирования импульсов и синхронизации, сам передатчик, а также преобразователь напряжения.



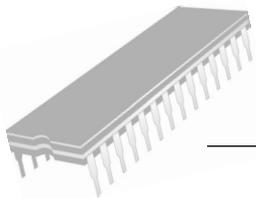
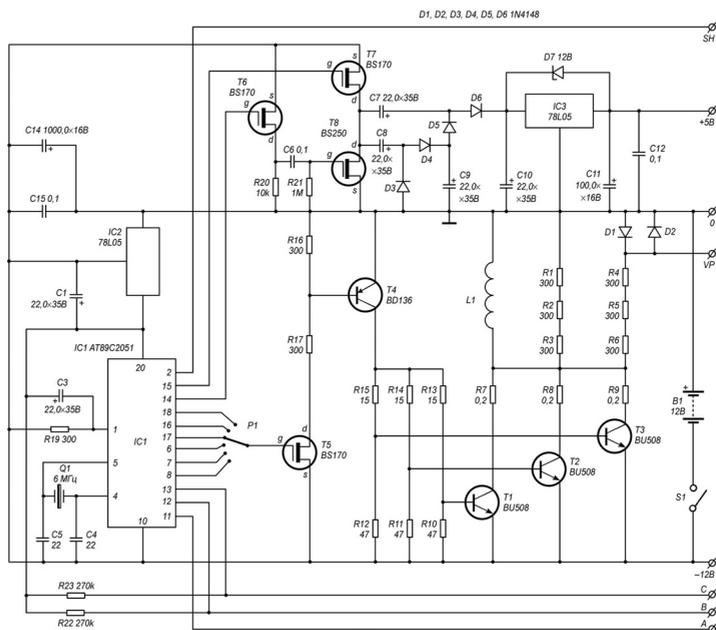


Рис. 3.18.
Принципиальная схема блока передатчика усовершенствованного импульсного металлоискателя



Главной составной частью всей конструкции является модуль формирования импульсов и синхронизации, выполненный на микропроцессоре IC1 типа AT89C2051 фирмы ATMEЛ и обеспечивающий формирование импульсов для передатчика, а также сигналов, управляющих работой всех остальных блоков. Рабочая частота микроконтроллера IC1 стабилизирована кварцевым резонатором (6 МГц). При указанном значении рабочей частоты микропроцессор формирует периодическую последовательность управляющих импульсов для различных каскадов металлодетектора.

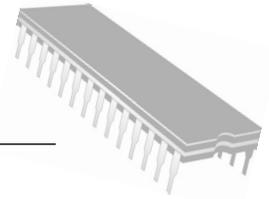
Первоначально на выводе IC1/14 микропроцессора формируется управляющий импульс для транзистора Т6, после окончания которого на выводе IC1/15 формируется аналогичный импульс для транзистора Т7. Затем этот процесс повторяется еще раз. В результате происходит запуск преобразователя напряжения.

Далее, последовательно на выводах IC1/8, IC1/7, IC1/6, IC1/17, IC1/16 и IC1/18 формируются импульсы запуска передатчика. При этом указанные импульсы имеют одинаковую длительность, но каждый последующий импульс задержан относительно предыдущего на несколько тактов. Начало первого импульса, сформированного на выводе IC1/8, совпадает с серединой второго импульса на выводе IC1/15. С помощью переключателя P1 можно выбрать время задержки импульса запуска передатчика по отношению к стартовому импульсу.

Через несколько тактов после окончания импульса на выводе IC1/18 короткий стробирующий импульс для усилителя-анализатора формируется на выводе IC1/2. В отличие от ранее рассмотренной схемы в данном приборе на этом же выводе микроконтроллера через несколько тактов формируется второй стробирующий импульс.

Помимо этого на выводах IC1/12 и IC1/13 микропроцессора формируются управляющие сигналы для транзисторов Т31 и Т32 блока приемника. Середина управляющего импульса для транзистора Т31 совпадает с серединой первого стробирующего импульса на выводе IC1/2, однако длительность импульса на выводе IC1/12 почти в два раза больше. При этом указанный импульс имеет отрицательную полярность. Начало управляющего импульсного сигнала на выводе IC1/13 почти совпадает с серединой второго импульса на выводе IC1/14 микроконт-





роллера, заканчивается же он через несколько тактов после окончания второго стробирующего импульса, формируемого на выводе IC1/2. Затем на выводе IC1/11 формируется управляющий сигнал для транзистора Т35 схемы акустической сигнализации блока приемника.

После небольшой паузы последовательность управляющих импульсов на соответствующих выходах микроконтроллера формируется вновь.

Питающее напряжение +5 В, предварительно стабилизированное микросхемой IC2, подается на вывод IC1/20 микроконтроллера.

Преобразователь напряжения, выполненный на транзисторах Т6-Т8 и стабилизаторе IC3, обеспечивает формирование питающего напряжения +5 В, необходимого для питания каскадов приемной части. Управляющие сигналы для транзисторов Т7 и Т8 формируются на соответствующих выводах микроконтроллера IC1, при этом на транзистор Т8 этот сигнал подается через преобразователь уровня, собранный на транзисторе Т6. Далее сформированное питающее напряжение стабилизируется микросхемой IC3, с выхода которой напряжение +5 В поступает на каскады приемника.

Выходные каскады передатчика выполнены на мощных транзисторах Т1, Т2 и Т3, работающих на общую нагрузку, в качестве которой выступает катушка L1, шунтированная цепочкой резисторов R1-R6. Работой транзисторов выходного каскада управляет транзистор Т4. Управляющий сигнал на базу транзистора Т4 подается с соответствующего выхода процессора IC1 через транзистор Т5.

Как и в рассмотренном в предыдущем разделе металлодетекторе, импульс, формируемый микропроцессором IC1 в соответствии с заложенной в его памяти программой, через переключатель подается на вход транзистора Т5 и далее, через транзистор Т4, на выходные каскады передатчика, выполненные на транзисторах Т1-Т3, а затем — на приемопередающую катушку L1. При появлении в зоне действия катушки L1 металлического предмета на его поверхности под воздействием внешнего электромагнитного поля, инициированного импульсом передатчика, возбуждаются вихревые поверхностные токи. Время существования этих токов зависит от длительности импульса, излучаемого катушкой L1.

Поверхностные токи являются источником вторичного импульсного сигнала, который принимается катушкой L1, усиливается и подается на схему анализа. Благодаря явлению самоиндукции длительность вторичного сигнала будет больше, чем длительность излученного передающей катушкой импульса. При этом форма вторичного импульсного сигнала зависит от свойств материала, из которого изготовлен обнаруженный металлический предмет. Обработка информации об отличиях параметров импульсов, излученных и принятых катушкой L1, обеспечивает формирование данных для блока индикации о наличии металлического предмета.

В состав блока приемника (рис. 3.19) входят двухкаскадный усилитель входного сигнала, усилители образцового сигнала, усилитель-анализатор, активный узкополосный фильтр, фильтр низкой частоты, схема формирования напряжения смещения, схемы коммутации и схема звуковой индикации.

Сигнал от металлического предмета принимается катушкой L1 и через схему защиты, выполненную на диодах D1 и D2, подается на входной двухкаскадный усилитель с емкостной обратной связью, выполненный на операционных усилителях IC31 и IC32. С выхода микросхемы IC32 (вывод IC32/6) усиленный импульсный сигнал подается на усилитель-анализатор, выполненный на микросхеме IC33.

В процессе работы прибора усилитель IC33 постоянно выключен, а напряжение питания подается на него лишь при поступлении на соответствующий вход (вывод IC33/8) стробирующих импульсов. По окончании подачи напряжения питания на выходе усилителя (вывод IC33/5) в течение нескольких секунд сохраняется уровень принятого сигнала, зафиксирован-



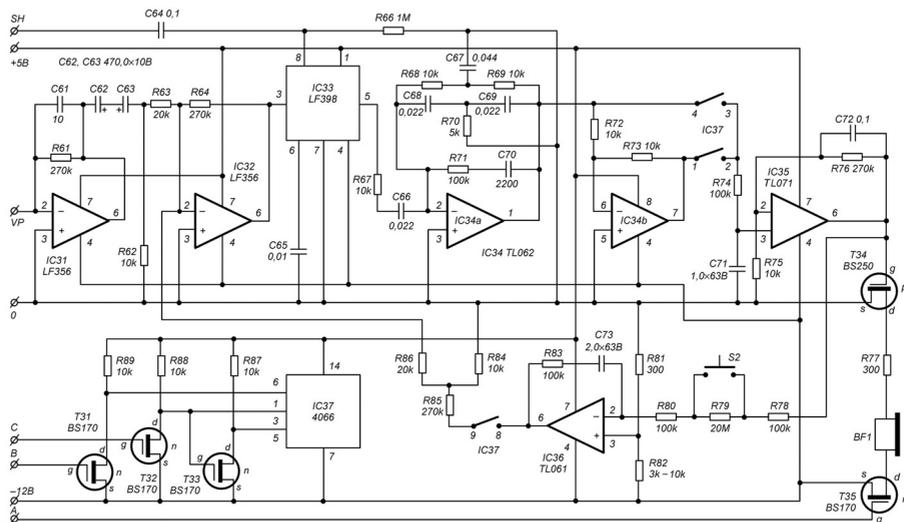
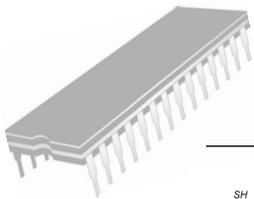


Рис. 3.19.

Принципиальная схема блока приемника усовершенствованного импульсного металлоискателя

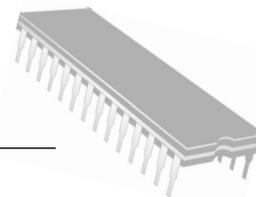
ный во время воздействия стробирующих импульсов. Время сохранения уровня сигнала зависит от емкости конденсатора С65. Таким образом, на один вход усилителя (вывод IC33/3) подается принятый импульсный сигнал, а на второй вход (вывод IC33/8) через конденсаторы С64 поступает соответствующий стробирующий импульс от модуля формирования импульсов и синхронизации (вывод IC1/2).

Далее выделенный сигнал проходит через активный фильтр, выполненный на элементе IC34a и настроенный на частоту 6 МГц. Для достижения указанных на принципиальной схеме параметров отдельных элементов данного фильтра рекомендуется использовать параллельное включение резисторов и конденсаторов. Так, например, значение указанной на схеме емкости конденсатора С67 (0,044 мкФ) достигается параллельным включением двух конденсаторов емкостью 0,022 мкФ каждый. Необходимо отметить, что при использовании кварцевого элемента Q1 с рабочей частотой, отличающейся от 6 МГц, величины отдельных элементов фильтра следует пересчитать.

С выхода фильтра сигнал подается на синхронный детектор, на входе которого установлен инвертирующий усилитель с коэффициентом усиления 1, выполненный на элементе IC34b. При этом с помощью замыкания соответствующих пар контактов микросхемы IC37 (выводы IC37/1,2 и IC37/3,4) осуществляется переключение отрицательного сигнала, подаваемого на интегрирующую цепочку с конденсатором С71. Управляющие сигналы для микросхемы IC37 формируются каскадами, выполненными на транзисторах Т31-Т33.

С выхода интегрирующей цепочки импульсный сигнал проходит на вход усилительного каскада, который выполнен на микросхеме IC35 и одновременно выполняет функции фильтра низких частот. Падение напряжения на выходе операционного усилителя (вывод IC35/6) приводит к открытию транзистора Т34 и подключению к общему проводу головных телефонов BF1. При поступлении с соответствующего выхода микроконтроллера (вывод IC1/11) на транзистор Т35 управляющего сигнала в телефонах будет прослушиваться сигнал звуковой частоты. Резистор R77 ограничивает ток, протекающий через головные телефоны BF1. Его подбором можно регулировать громкость акустического сигнала.





Сигнал с вывода IC35/6 также подается на вход другого операционного усилителя (вывод IC36/2), задачей которого является обнуление выходного сигнала. Его использование объясняется тем, что на выходе микросхемы IC33 изменяющийся во времени выходной сигнал будет формироваться и в отсутствие в зоне действия поисковой катушки L1 металлических предметов, поэтому амплитуда результирующего сигнала будет отлична от нуля. С помощью резистора R86 на вход второго усилительного каскада (вывод IC32/2) подается напряжение смещения именно в момент поступления первого стробирующего импульса. Необходимый уровень напряжения смещения зависит от уровня выходного сигнала на выводе IC35/6, его формирование обеспечивается с помощью интегрирующей цепочки C73, R78-R80 и усилительного каскада на микросхеме IC36.

Цепь формирования напряжения смещения функционирует лишь во время замыкания соответствующих контактов микросхемы IC37 (выводы IC37/9,8). Длительность этого временного отрезка составляет три такта. При этом управляющие сигналы для микросхемы IC37 поступают с каскадов, выполненных на транзисторах T31-T33. Таким образом обеспечивается выравнивание уровней сигналов, сформированных в моменты поступления первого и второго стробирующих импульсов. Нажатием кнопки S2 время процесса обнуления можно значительно сократить.

Детали и конструкция

Все детали рассматриваемого прибора (за исключением поисковой катушки L1, переключателя P1, выключателя S1 и кнопки S2) расположены на печатной плате (рис. 3.20) размерами 95x65 мм, изготовленной из двустороннего фольгированного гетинакса или текстолита.

К деталям, применяемым в данном устройстве, не предъявляются какие-либо особые требования. Рекомендуется использовать любые малогабаритные конденсаторы и резисторы, которые без проблем можно разместить на печатной плате. Необходимо отметить, что для достижения указанных на принципиальной схеме параметров отдельных элементов следует использовать параллельное включение резисторов и конденсаторов (рис. 3.21). На печатной плате для размещения таких элементов предусмотрено дополнительное место.

Микросхемы типа LF356 (IC31, IC32) можно заменить на LM318 или NE5534, однако в результате такой замены могут возникнуть проблемы с налаживанием. В качестве усилителя IC35, помимо указанной на схеме микросхемы типа TL071, можно использовать микросхемы CA3140, OP27 или OP37. Микросхема типа TL061 (IC36) без проблем заменяется на CA3140.

В качестве транзисторов T1-T3 помимо указанных на принципиальной схеме можно использовать транзисторы типа BU2508, BU2515 или ST2408.

Рабочая частота кварцевого резонатора должна составлять 6 МГц. Можно использовать любой другой кварцевый элемент с частотой резонанса от 2 до 6 МГц. Однако в таком случае потребуются пересчитать параметры элементов фильтра, выполненного на элементе IC34а.

Для монтажа микропроцессора IC1 следует использовать специальную панельку. При этом микроконтроллер устанавливается на плату только после окончания всех монтажных работ. Данное условие необходимо соблюдать и при проведении регулировочных работ, связанных с выполнением пайки при подборе величин отдельных элементов.

Особое внимание следует уделить изготовлению катушки L1, индуктивность которой должна составлять 500 мкГ. Конструкция этой катушки практически ничем не отличается от конструкции поисковой катушки L1, использованной в металлодетекторе, рассмотренном в предыдущем разделе. Она выполнена в виде кольца диаметром 250 мм и содержит 30 витков провода диаметром не более 0,5 мм. При использовании провода большего диаметра ток в



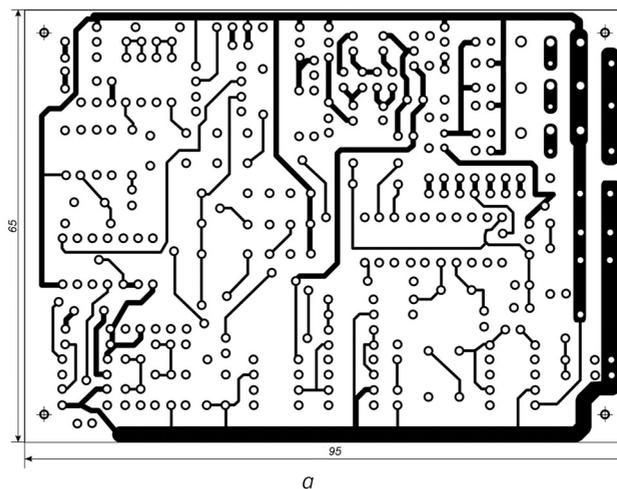
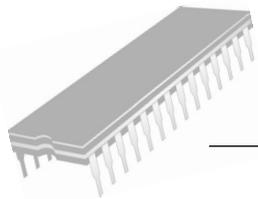


Рис. 3.20.
Печатная плата усовершенствованного импульсного металлоискателя

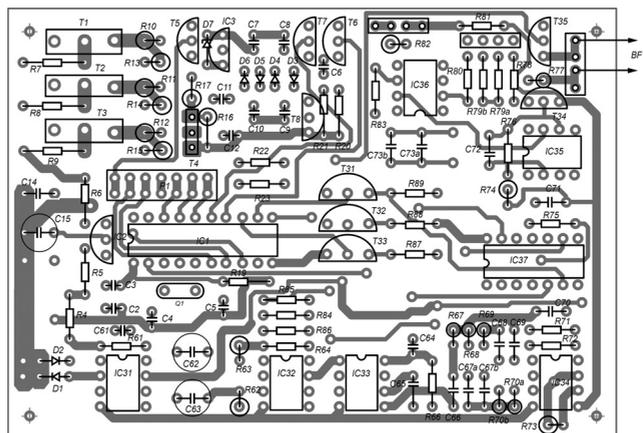
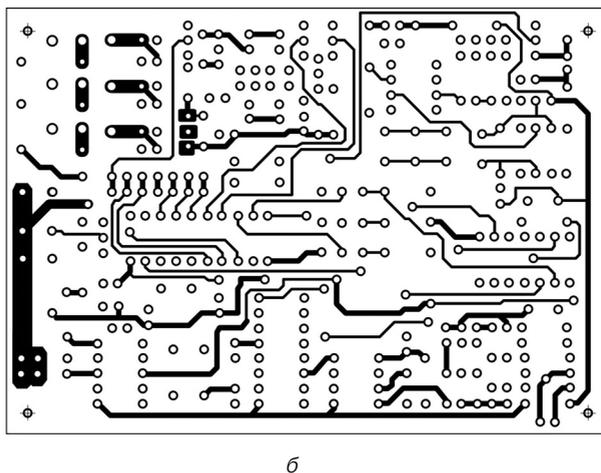
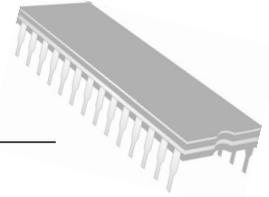


Рис. 3.21.
Расположение элементов усовершенствованного импульсного металлоискателя





катушке возрастет, однако еще быстрее будут расти значения паразитных вихревых токов, что приведет к ухудшению чувствительности прибора.

Следует напомнить, что для изготовления катушки L1 не рекомендуется использовать лакированный провод, поскольку разность потенциалов между соседними витками при излучении импульса достигает 20 В. Если в процессе намотки витков катушки рядом окажутся проводники, например первого и пятого витков, пробой изоляции практически обеспечен.



В свою очередь, это может привести к выходу из строя транзисторов передатчика и других элементов. Поэтому провод, используемый при изготовлении катушки L1, должен быть хотя бы в полихлорвиниловой изоляции. Готовую катушку также рекомендуется хорошо изолировать. Для этого можно воспользоваться эпоксидной смолой или различными пенными наполнителями.

Катушку L1 следует подключать к плате с помощью двужильного хорошо изолированного провода, диаметр каждой жилы которого должен быть не меньше диаметра провода, из которого изготовлена сама катушка. Не рекомендуется использовать коаксиальный кабель из-за его значительной собственной емкости.

Источником звуковых сигналов могут служить либо головные телефоны с сопротивлением от 8 до 32 Ом, либо малогабаритный громкоговоритель с аналогичным сопротивлением катушки.

В качестве источника питания В1 рекомендуется использовать аккумуляторную батарею емкостью около 2 А/ч, поскольку ток, потребляемый данным металлоискателем, превышает 200 мА.

Печатная плата с расположенными на ней элементами и источник питания размещаются в любом подходящем корпусе. На крышке корпуса устанавливаются переключатель P1, разъемы для подключения головных телефонов BF1 и катушки L1, а также выключатель S1 и кнопка S2.

Налаживание

Данный прибор следует настраивать в условиях, когда любые металлические предметы удалены от поисковой катушки L1 на расстояние не менее 1,5 м.

Особенность настройки и регулировки рассматриваемого металлоискателя заключается в том, что его отдельные блоки и каскады подключаются постепенно. При этом каждая операция подключения (пайка) выполняется при отключенном источнике питания.

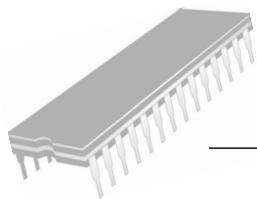
В первую очередь требуется проверить наличие и величину питающего напряжения на соответствующих контактах панели микросхемы IC1 в отсутствие микроконтроллера. Если это напряжение в норме, то далее следует установить на плату микропроцессор и с помощью частотомера или осциллографа проверить сигнал на выводах IC1/4 и IC1/5. Частота пилот-сигнала на указанных выводах должна соответствовать рабочей частоте используемого кварцевого резонатора.

После подключения транзисторов преобразователя напряжения (без нагрузки) потребляемый ток должен возрасти примерно на 50 мА. Напряжение на конденсаторе C10 в отсутствие нагрузки не должно превышать 20 В.

Затем следует подключить каскады передатчика. Режимы работы транзисторов T1-T4 должны быть одинаковыми и устанавливаются подбором величин резисторов R13-R16.

Сопротивление катушки L1, зашунтированной резисторами R1-R3, должно составлять примерно 500 Ом. При этом выводы катушки и резисторов должны быть хорошо пропаяны, поскольку нарушение контакта в этой цепи влечет за собой выход из строя выходных транзисторов передатчика.





Для проверки работоспособности каскадов передатчика можно придержать катушку L1 возле уха и включить питание металлоискателя. Примерно через полсекунды (после обнуления микроконтроллера) можно будет услышать сигнал низкого тона, возникновение которого обусловлено микровибрацией отдельных витков катушки. При этом на коллекторах транзисторов Т1-Т3 будет сформирован немодулированный остроконечный импульс длительностью около 10-20 мкс, форму которого можно проконтролировать с помощью осциллографа. Увеличение сопротивления резисторов R1-R3 приводит к возрастанию амплитуды выходного импульса с уменьшением его длительности. Для подбора величины сопротивления шунта катушки L1 не рекомендуется использовать переменный резистор, поскольку даже кратковременное нарушение контакта движка с токопроводящей дорожкой может вывести из строя выходные транзисторы передатчика. Поэтому желательно постепенно изменять величину шунта с шагом 50 Ом. Перед заменой деталей следует обязательно выключить напряжение питания прибора.

Далее можно приступать к настройке приемной части. Если все детали исправны, а монтаж выполнен безошибочно, то после включения металлодетектора (примерно через 20 мкс после окончания стартового импульса) на выходе микросхемы IC31 (вывод IC31/6) с помощью осциллографа можно наблюдать экспоненциально возрастающий сигнал, переходящий в сигнал постоянного уровня. Искажения фронта этого сигнала устраняются подбором резисторов R1, R2 и R3, шунтирующих катушку L1.

После этого следует проконтролировать форму и амплитуду сигнала на выходе микросхемы IC32 (вывод IC32/6). Максимальная амплитуда этого сигнала устанавливается подбором величины резистора R64. В процессе налаживания напряжение смещения на вывод IC32/2 можно подавать с отдельного делителя напряжения, в качестве которого можно использовать переменный резистор номиналом 5-50 кОм, включенный, например, между выводами IC32/4,7. Движок потенциометра подключается к резистору R86.

На выходе микросхемы IC33 (вывод IC33/5) можно наблюдать прямоугольный сигнал, амплитуда которого регулируется временно подключенным потенциометром. Далее необходимо проконтролировать сигналы на выходах элементов IC34а и IC34б. При этом на выводах IC34/6,7 должны быть правильные синусоиды. В результате на конденсаторе C71 формируется постоянное напряжение, которое поступает на вход микросхемы IC35.

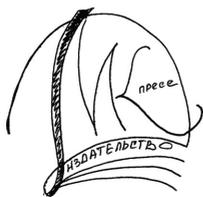
В процессе настройки можно наблюдать реакцию прибора на изменение положения движка временно подключенного потенциометра, после чего вместо него следует впаять делитель R84, R85.

Порядок работы

Порядок работы с детектором металлических предметов не имеет существенных отличий от использования металлодетектора, рассмотренного в предыдущем разделе.

Перед практическим использованием данного металлоискателя следует переключателем Р1 установить минимальную задержку импульса. Если в процессе работы в зоне действия поисковой катушки L1 окажется какой-либо металлический предмет, то в головных телефонах появится акустический сигнал. Переход в режим работы с большей задержкой импульса обеспечивает исключение влияния не только магнитных свойств грунта, но и избавит от реакции прибора на всевозможные посторонние предметы (ржавые гвозди, фольгу от сигаретных пачек и т. п.) и последующего напрасного поиска.





Издательско-полиграфический центр

ДМК-пресс

Оперативная полиграфия.
Дизайн и верстка.
Полный спектр
полиграфических услуг.

Надо звонить!



540-04-18,
514-41-72,

<http://ipc.dmk-press.ru>

e-mail: ipc@dmk-press.ru

Книги Издательского дома «ДМК-пресс» можно заказать в Торгово-издательском холдинге «АЛЪЯНС-КНИГА» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: 123242, Москва, а/я 20 или по электронному адресу: **post@abook.ru**.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в Internet-магазине: www.abook.ru.

Оптовые покупки: тел. **(495) 258-91-94, 258-91-95**; электронный адрес **abook@abook.ru**.

Михаил Васильевич Адаменко

МЕТАЛЛОИСКАТЕЛИ



Издательский дом «ДМК-пресс», г. Москва

(495) 505-10-80

www.dmk-press.ru

e-mail: books@dmk-press.ru

Подписано в печать 21.02.2006.

Печать офсетная.

Усл. печ. л. 12. Тираж 3000 экз.

Дизайн и верстка издания:

ИПЦ «ДМК-Пресс»

(495) 540-04-18, e-mail: ipc@dmk-press.ru

http://ipc.dmk-press.ru

Дизайн
Верстка
Корректор

М. М. Селеменив
Е. П. Селеменива
Л. К. Мусатова

Отпечатано в типографии ООО «Финтрекс»,
г. Москва, ул. Кантемировская, д. 60