



Ю. Н. Малоиван, инженер-электронщик Днепропетровской станции скорой помощи

Устройство для определения координаты головы поезда

Американский математик Н. Винер, основатель кибернетики, отмечал, что XVIII век — это век часов, XIX век — век паровых машин, наше время — это век связи и управления. «Техника нашего времени характеризуется использованием сложных комплексных систем, в которых переплетаются многочисленные и разнообразные материальные, энергетические и информационные потоки, требующие координации, управления и регулирования со скоростью и точностью, которые являются не достижимыми для внимания и памяти человека». Реализация таких задач управления возможна только с использованием технических средств автоматизации на базе вычислительной техники. Микропроцессоры стали входить в состав отдельных средств автоматики и контроля. Цифровая передача данных между отдельными устройствами сделала вычислительную сеть основой построения систем управления, жесткая логика уступила место гибкой, и это значительно сократило число аппаратных средств.

Наиболее совершенными интеллектуальными бортовыми системами регулирования движения, применяемыми

на отечественных железных дорогах, являются системы КЛУБ-У и САУТ-ЦМ. Обе системы имеют возможность управления подвиж-

ными объектами по радиоканалу. В то же время данные системы рассчитаны на работу совместно с автоблокировкой, поэтому контроль

местоположения хвоста поезда у них не осуществляется — эта функция возложена на напольную аппаратуру автоблокировки.

Местонахождение головы поезда в пределах рельсовой цепи определяется путем исчисления числа оборотов колесной пары, оборудованной датчиком пути и скорости (ДПС). Погрешность измерения скорости в указанных системах не менее ± 1 км/ч, тогда как при определении ускорений она должна быть существенно выше. При юзе и боксовании в данных системах происходит накопление ошибок определения пройденного пути. С целью устранения недостатков система КЛУБ-У дооборудована GPS приемником, ведущим прием сигналов по 12 каналам одновременно. При его использовании точность определения местоположения системой КЛУБ может достигать 30 м, а точность определения скорости — 0,1 м/с.

Однако, даже указанная точность GPS позиционирования, очевидно, не позволяет определять маршрут движения поезда по станционным путям. Кроме того, как показали исследования в области применения спутниковой навигации, им присущ ряд существенных недостатков. Так точность позиционирования зависит от состояния ионосферы Земли и может существенно изменяться так, что погрешность расположения может достигать сотен метров при неудачном расположении группировки спутников над местностью и высоких скоростях движения объектов, а также при наличии нескольких путей, леса вокруг зданий с металлическими поверхностями, при этом время получения запроса со спутников достигает нескольких секунд.

Отмечается, что затенение сигнала, а также влияние нескольких путей на точность позиционирования являются решающими факторами риска при определении местоположения,

в этом случае вероятность неправильных показаний значительно выше вероятности сбоя сигналов в космосе. Другим фактором, сдерживающим применение GPS в качестве основной системы позиционирования, является то, что кроме технической стороны обеспечения привязки к местности возникает проблема, связанная с тем, что точные карты местности сами по себе являются стратегической информацией. Их составление требует отдельного проведения дорогостоящей операции картографирования местности в районе железных дорог. Но даже наличие точной карты местности не решает полностью проблемы определения интервалов между попутными поездами. Поскольку движение поездов происходит по траектории прокладки железнодорожного пути, то необходимо географические координаты нахождения головы поезда перевести в относительные точки привязки точки отсчета пути, что, в свою очередь, требует дополнительных вычислительных операций и может приводить к дополнительным погрешностям.

В существующих системах GPS, как правило, отводится роль дополняющей системе при многоконтурном контроле, или она применяется в качестве решения для малодетальных участков дорог, но в сочетании с опорными датчиками (реперами).

За рубежом известны эксперименты по обеспечению автономности определения местоположения путем вычисления пройденного пути с помощью связи осевой импульсный датчик — бортовой доплеровский радар. В публикациях отмечается, что такое решение отличается достаточно большой стоимостью.

Исследования проводились для двух вариантов измерений: методом определения центра веса доплеровского спектра и методом поиска точек пересече-

ния двух доплеровских спектров. Они показали, что первый способ обеспечивает относительную погрешность измерения пути и скорости до $\pm 2\%$, тогда как второй — до 0,5%. В то же время отмечено, что указанные значения относятся только к 95% пути, а на остальных 5% погрешность может увеличиваться более чем в два раза, до полного исчезновения сигнала. Поэтому доплеровский радар всегда должен применяться в сочетании, например, с осевым импульсным датчиком. Сам импульсный датчик дает погрешность 50–70 м на 10 км пути. Погрешность зависит от размера бандажа локомотива, которая уменьшается в процессе эксплуатации.

Таким образом, вопрос принципов функционирования навигационных систем для железнодорожного транспорта на сегодняшний день остается открытым.

Так как проблема по точному определению координат головы поезда остается открытой, то автор [1] предлагает ее решить с помощью принципиально нового автономного датчика, основанного на поиске рельсовых подкладок индуктивной рамкой с током высокой частоты. Это сравнительно дешевый способ и он не требует дублирования оптоэлектронными, и доплеровскими датчиками.

Решение проблемы выглядит значительно проще и дешевле, если посмотреть на это дело с другой стороны. На 1 км железнодорожного пути приходится 1840 шпал, это 184 шпалы на пикет. В кривых количество шпал немного другое, но это не имеет существенного значения, так как коррекцию подсчета шпал можно сделать программным путем. Если путь 1000 м разделить на 1840 то получается цифра, характеризующая междушпальный осевой промежуток 0,5435 м. Это и будет точность измерения пройденного поездом пути.

Принцип действия описываемого устройства основан на воздействии вихревых токов, возникающих в металлической подкладке и рельсе на добротность катушки, создающей магнитное поле. В отличие от предложенного подобного устройства [2] данное устройство может работать в условиях сильных переменных электромагнитных полей промышленной частоты создающих помехи. Это уже вплотную касается железнодорожного транспорта, так как железнодорожный рельс и является источником вышеуказанных помех. Как известно из физики, вокруг каждого проводника с током образуется свое электромагнитное поле, а в данном случае еще и с широким спектром гармоник. К тому же, в рельсовой петле, при замыкании двух параллельно расположенных рельсов первой колесной парой локомотива, начинает циркулировать ток кодового трансмиттера при автоблокировке, который необходим для АЛС. Это еще один достаточно мощный источник помех. Поэтому было принято решение в качестве несущей частоты использовать максимально-

возможную частоту генерации ГВЧ для рамки диаметром 12 см и емкости 15 пФ. Это уже ультра-короткие волны и FM-диапазон. Блок-схема подобного устройства — датчика рельсовых подкладок (ДРП) представлена на рис. 1.

Датчик состоит из поискового генератора высокой частоты 86МГц (ГВЧ), катушки индуктивности L (виток кабеля РК-75 диаметром 0,12 м), опорного генератора 85,5МГц (ОГ1), диодного смесителя частот (СМ1), фильтра низких частот (ФНЧ), который «обрезает» все побочные продукты смесителя выше 550 кГц, усилителя промежуточной частоты (УПЧ), и порогового элемента — триггера Шмитта (ПЭ1). Триггер Шмитта преобразует синусоидальный сигнал первой промежуточной частоты в прямоугольные импульсы необходимые для нормальной работы второго смесителя частоты (СМ2), на другой вход которого поступает прямоугольный сигнал с опорного генератора (ОГ2), частотой 505 кГц. На выходе второго смесителя образуются прямоугольные импульсы с разностной частотой 5 кГц.

Это и есть начальная частота импульсов, когда поезд стоит на месте. С набором скорости поезда, то есть с движением поисковой рамки относительно рельсовых подкладок, разностная частота периодически, будет варьироваться в пределах 5—50 кГц, в зависимости от высоты установки рамки над рельсом (35–45 см). Это изменение частоты (девиация) после детектирования будет фиксироваться далее как единица счета рельсовых подкладок. После СМ2 включен частотный детектор (ЧД), состоящий из интегратора напряжения ИН, формирователя импульса записи (ФИЗ), ключа К1, запоминающей емкости С1 и эмиттерного повторителя на транзисторе VT. Частотная модуляция более устойчива к радиопомехам, чем амплитудная, поэтому предпочтение отдано именно ей. С эмиттерного повторителя протектированный сигнал попадает на две линии задержки R2C2, R3C3 и компаратор напряжения (КН). Постоянная времени R2C2 в 30 раз больше постоянной времени R3C3. Линии задержки с различными постоянными времени не-

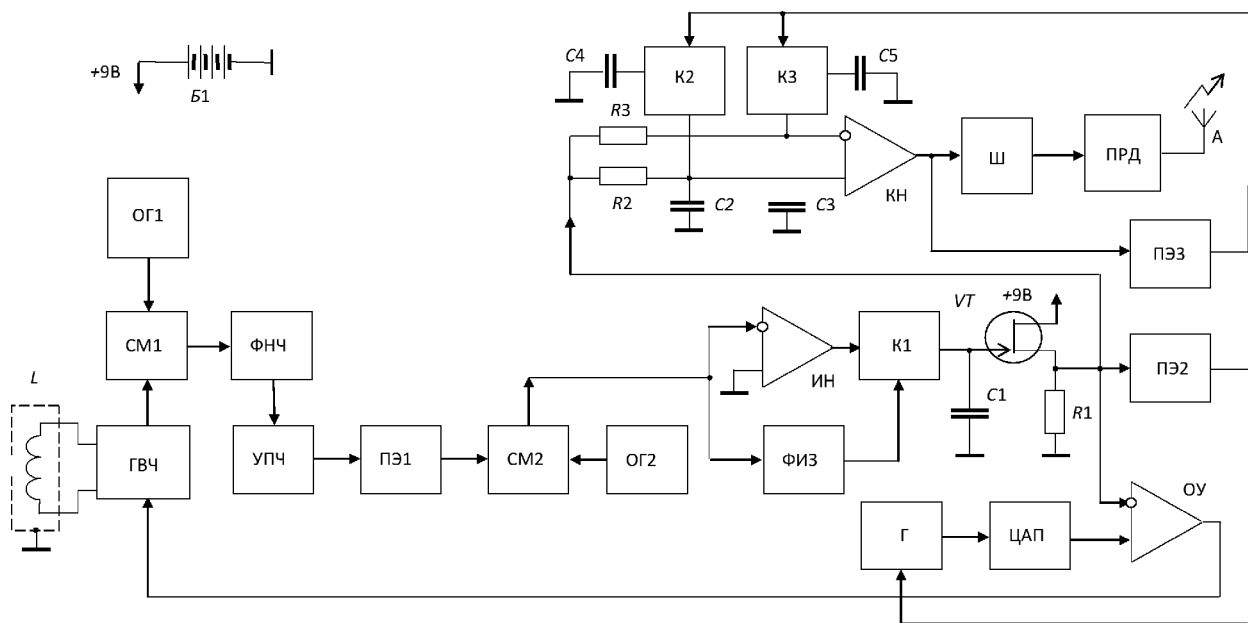


Рис. 1. Структурная схема датчика рельсовых подкладок

обходимы для того, чтобы избавиться от статической привязки к одному какому-то уровню протектированного напряжения. То есть, в результате изменения уровня напряжения на одном из входов компаратора быстрее чем на втором, и с пересечением этих уровней, на выходе компаратора будут появляться прямоугольные импульсы рельсовых подкладок. Если изменение напряжения на обоих входах будет идти одновременно, то никаких пересечений уровней не будет и на выходе компаратора никаких импульсов тоже не будет. Частотный детектор вместе с компаратором напряжения и интегрирующими цепочками детектирует сигналы от 1 Гц до 178 Гц (скорость поезда 2–350 км/ч).

Прямоугольные импульсы подкладок с компаратора напряжения поступают на шифратор (Ш), который по переднему фронту каждого входного импульса, выдает на своем выходе три коротких импульса положительной полярности. Шифратор нужен по двум причинам, первая — отсеять ложные всплески напряжения в канале связи, если таковые будут иметь место, и второе — не дать возможность разрядить батарею питания при остановке локомотива. Надо понимать, что рамка датчика в это время находится над рельсовой подкладкой и выход компаратора находится в состоянии логической еди-

ницы, запустив этим шифратор на счет. Импульсы с шифратора поступают на вход модулятора маломощного УКВ-передатчика ПРД (144 МГц), который передает информацию о подкладках МПУ-устройству в кабину машиниста.

Так как пара интегрирующих цепочек расположенных перед компаратором не в состоянии перекрыть весь частотный диапазон от 1 до 178 Гц, (2–350 км/ч), то он разбивается на два поддиапазона 2–30 км/ч и 30–350 км/ч. В частотном эквиваленте перемещения накладок это будет выглядеть как 1–15,3 Гц и 15,3–178 Гц, или, что одно и то же, подкладок в секунду.

Но есть и другая причина, по которой это разбиение выгодно. При скорости движения поезда, более 70–80 км/ч в локомотиве критически усиливаются поперечные и вертикальные колебания кузова. А так как датчик крепится к кузову, то нужно чтобы эти колебания не воспринимались датчиком за единицу счета рельсовых подкладок. Полезная суть этого разбиения сводится к следующему: когда локомотив стоит на месте, потенциальные уровни постоянного напряжения на прямом и инверсном входе компаратора, после детектирования частотным детектором, находятся друг от друга на расстоянии в 10 мВ. В движении, сигналы подкладок на инвертирующем входе компаратора начинают пересекать уро-

вень напряжения на неинвертирующем (прямом) входе, выдавая прямоугольные импульсы подкладок на его выходе. Это происходит благодаря различным постоянным времени интегрирующих цепочек.

Когда на большой скорости движения (свыше 70 км/ч) появляются поперечные или вертикальные колебания кузова относительно рельсов, то скорость их нарастания и спада, учитывая большую массу кузова, будет намного меньше, чем скорость перемещения рельсовых подкладок относительно поисковой рамки. То есть, на верхнем поддиапазоне скоростей (30–350 км/ч), когда этот факт будет иметь место, где постоянная времени R2C2 гораздо меньше постоянной R2(C2+C4), пересечения энергетических уровней на входах компаратора промодулированных этим прыжком не будет, поскольку всплеск уровня напряжения на прямом входе компаратора промодулирует по амплитуде уровень напряжения на инверсном. А если нет пересечений уровней напряжения от всплеска, то и импульсы символизирующего «ложную» подкладку на выходе КН также не будет. В то же время импульсы подкладок будут пересекать уровень напряжения на прямом входе, потому что постоянная времени R3C3 в 30 раз меньше R2C2 (рис. 2). На выходе компаратора, при этом,

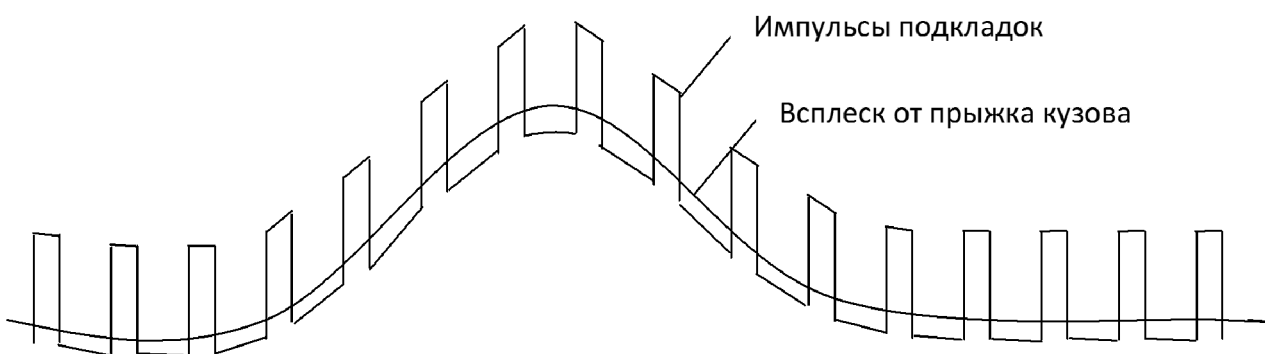


Рис. 2. Уровни напряжений на входах компаратора КН при скорости поезда более 70 км/ч

будут только импульсы рельсовых подкладок.

Коммутация поддиапазонов происходит с помощью двух электронных ключей К2 и К3 (рис. 1) и порогового элемента (ПЭЗ), управляющего этими ключами. Когда поезд не движется, то ключи К2 и К3 открыты и к конденсаторам С2 и С3, параллельно им, подключаются конденсаторы С4 и С5. Когда скорость поезда постепенно растет, то уровень постоянной составляющей протектированного сигнала на входе порогового устройства также возрастает и при достижении скорости 30 км/ч, ключи К2, К3 срабатывают, тем самым отключают дополнительные конденсаторы С4 и С5. В обратном случае, когда скорость поезда будет падать, подключение конденсаторов С4 и С5 к конденсаторам С2 и С3 произойдет при скорости 25 км/час. Этот гистерезис в 5 км/ч в пороговом устройстве введен специально, чтобы в ключах не было звонкового эффекта при медленном уменьшении или увеличении скорости поезда.

Дополнительно надо отметить, что устройство, как и в статье Л. Тенева, реагирует только на подвижной металл. На неподвижный металл, который находится в «поле зрения» поисковой рамки он не реагирует, а железнодорожный рельс, который расположен параллельно пути движения поезда и является этим недвижимым металлом.

Работа автопоисковика частоты и автоматической подстройки частоты

При частоте напряжения после второго смесителя СМ2 5 кГц протектированное постоянное напряжение с выхода эмиттерного повторителя поступает на инверсный вход операционного усилителя ОУ. На прямой его вход поступает постоянное напряжение с цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). На преобразователь приходят прямоугольные импуль-

сы с генератора (Г), а управление генератором осуществляется пороговым элементом ПЭЗ. Разностное напряжение с выхода ОУ поступает на варикап, расположенный в поисковом генераторе частоты 86 МГц.

Когда подается питание на ДРП, то срабатывает ПЭЗ и включает генератор Г, который своими импульсами приводит в движение двоичный восьмиразрядный счетчик ЦАП (генератор ступенчатого напряжения). Счет импульсов идет до тех пор, пока линейно-ступенчатое напряжение на его выходе не достигнет напряжения отключения ПЭЗ. Это произойдет только в одном случае, когда разностная частота второго смесителя СМ2 будет равна 5 кГц. Счетчик ЦАП останавливается и последующее управление частотой ГВЧ (86 МГц) происходит постоянной составляющей ЧД и ОУ, напряжение на выходе которого, будет управлять емкостью варикапа и поддерживать, в конечном счете, частоту 5 кГц неизменной. Схема автоматической подстройки частоты (АПЧ) реагирует только на

слишком медленные изменения протектированного напряжения. Это нужно для того, чтобы АПЧ не вмешивалась в счет рельсовых подкладок, но поддерживала с течением времени разностную частоту 5 кГц.

Дополнительное снижение добротности поисковой рамки датчика РП при наезде на рельсовую подкладку. Она действительно будет снижаться, а вместе с этим будет повышаться резонансная частота параллельного LC-контура, индуктивностью которого и является сама поисковая рамка. Происходит это потому, что электромагнитное поле от вихревого тока, наводится не только в рельсе, но и рельсовой подкладке, и оно направлено против поля рамки. Емкость при расчетах бралась неизменной и равна 15 пФ. Это составная емкость, составленная из входной емкости полевого транзистора ГВЧ, емкости монтажа печатной платы и емкости витка рамки относительно электростатического экрана.

Автором был смоделирован электровоз ВЛ-8, рельсы с рельсовыми подкладками, и сама

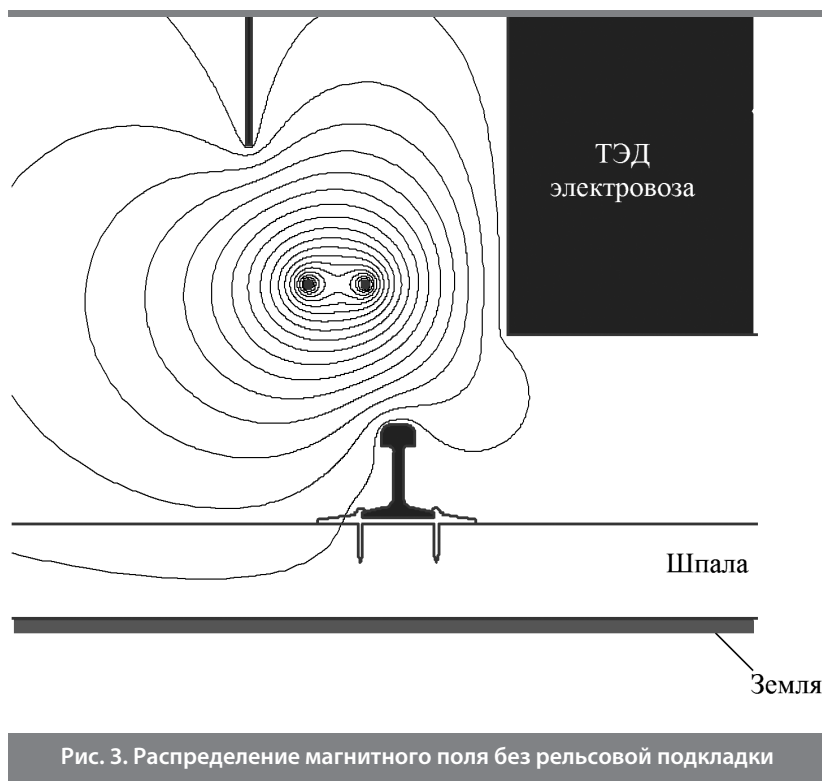


Рис. 3. Распределение магнитного поля без рельсовой подкладки

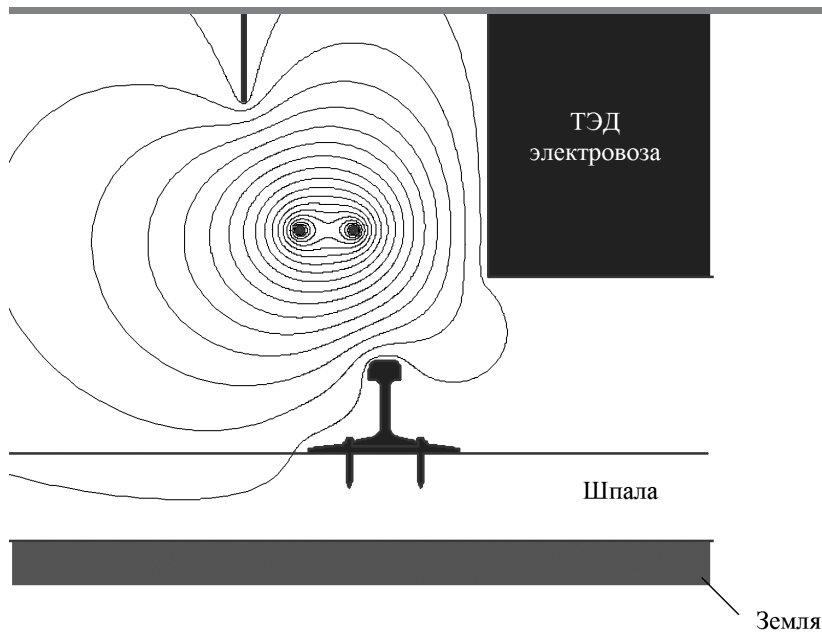


Рис. 4. Распределение магнитного поля с рельсовой подкладкой



Рис. 6. Датчик рельсовых подкладок

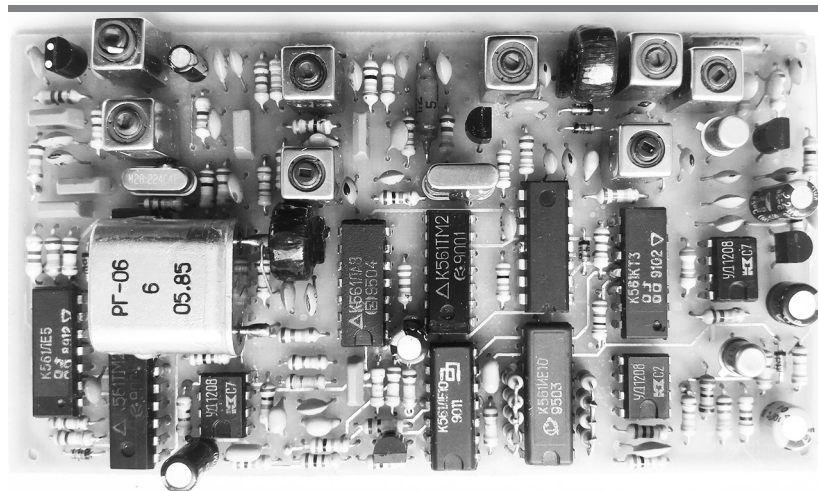


Рис. 5. Плата датчика рельсовых подкладок



Рис. 7. Приемное микропроцессорное устройство

ВЧ-рамка на 86 МГц, размерами 12×12 см с диаметром трубок 10 мм и электростатическим экраном. Экран нужен для того, чтобы тело человека при настройке ДРП не влияло на индуктивность рамки. Ток в рамке — 10 мА. Картинки поля поисковой рамки без рельсовой подкладки, и с ней, приведены на рис. 3–4.

Нижнюю границу регистрации скорости поезда можно расширить с 2 км/ч до 0,5 км/ч, но уже программным путем. Счет на количество шпал пройденных за 1 с не позволяет сделать это на-

прямую, так как расстояние между осями шпал 0,5435 м. Но, если программно организовать еще и счетчик секунд, который будет автоматически подключаться при скорости движения менее 2 км/ч и считать время прохождения одной шпалы, то регистрация скорости 0,5 км/ч вполне возможна.

Скорость в 0,5 км/ч должна быть осигнализирована звуковым сигналом зуммера и мигающим свечением экрана монитора. Для поездов это очень важно, так как касается безопасности движения

всего железнодорожного транспорта.

Локомотив

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Плешакова Е. В. «Разработка методов обнаружения движущихся металлических объектов в непроводящих и слабопроводящих средах». — Новосибирск, 2006 г. — 24 с.
2. Тенев Л. «Устройство за отклонение на движущемся металле предмет» — Радио, телевизия, електроника. — София, България, 1986. — №12. — С. 32–33.