



УДК 622.271.4:622.684

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДАТЧИКА И ПРИЕМНИКА ИМПУЛЬСОВ УСТРОЙСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОДОЛЬНОГО ПОРЫВА КОНВЕЙЕРНОЙ ЛЕНТЫ

Григорьев А.В., Захаров А.Ю., Захарова А.Г., Шаулев А.А., Шаулева Н.М.

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Аннотация.

В условиях современных шахт широкое применение находят ленточные конвейеры, особенностью эксплуатации которых является существенное увеличение грузопотоков и замена вертикальных подъемных установок на наклонные стволы, причем ширина конвейерной ленты может достигать 2000 мм. Продольный порыв такой ленты вызывает значительные экономические затраты, связанные с ремонтом или заменой конвейерной ленты и простоем основного шахтного оборудования. Наиболее перспективным направлением решения проблемы обнаружения продольного порыва можно считать передачу энергии в виде электромагнитных полей по поперечному сечению конвейерной ленты. Однако в связи с большим количеством наводок во встроенной в конвейерную ленту петле в условиях шахты могут возникать сложности при считывании информации приемником. Кроме этого, в таких устройствах необходимо экранирование передатчика от приемника.

Для повышения надежности работы устройств обнаружения продольного порыва конвейерных лент (УОПП) на кафедрах горных машин и комплексов и электропривода и автоматизации КузГТУ разработано устройство, в котором передатчик и источник питания располагаются в конвейерной ленте. Предложены несколько вариантов структурных схем УОПП с минимальным влиянием электромагнитных помех и определены требования к передатчику и приемнику. Сформулированы критерии, которым должна удовлетворять конструкция передатчика устройства обнаружения продольного порыва ленты с минимальным влиянием электромагнитных помех. Обоснован выбор параметров передатчика и приемника, выполнены расчеты потерь передачи, минимальной возможной мощности передатчика и минимальной возможной чувствительности приемника, выбран тип антенн передатчика и приемника, выбрана и рассчитана схема передатчика, основанная на автогенераторе колебаний Колпитца.



Информация о статье

Поступила:
25 февраля 2024 г.

Рецензирование:
30 мая 2024 г.

Принята к печати:
10 июня 2024 г.

Ключевые слова:

ленточные конвейеры;
конвейерные ленты;
продольный порыв;
устройство обнаружения
продольного порыва; геркон;
передатчик импульсов;
приемник импульсов.

Для цитирования: Григорьев А.В., Захаров А.Ю., Захарова А.Г., Шаулев А.А., Шаулева Н.М. Обоснование конструкции передатчика и приемника импульсов устройства обнаружения продольного порыва конвейерной ленты // Техника и технология горного дела. – 2024. – № 2(25). – С. 4-23. – DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-4-23, EDN: BYIJDN

Введение

В условиях современных шахт широкое применение находят ленточные конвейеры, особенностью эксплуатации которых является существенное увеличение грузопотоков и замена вертикальных подъемных установок на наклонные стволы, причем ширина конвейерной ленты может достигать 2000 мм. Продольный порыв такой ленты вызывает значительные



экономические затраты, связанные с ремонтом или заменой конвейерной ленты и простоем основного шахтного оборудования.

В настоящее время существует множество устройств обнаружения продольного порыва конвейерных лент (УОПП), например, устройство для фиксации транспортируемого груза, попавшего на порожнюю ветвь ленты через порыв [1]. Устройство несложное, однако на порожнюю ветвь по различным причинам может попадать груз, вследствие чего возможны ложные срабатывания. Непрерывный контроль ширины ленты осуществляется с помощью механического устройства EMSYS фирмы MESKOTEX KG [2].

Возможен контроль ширины ленты с помощью ультразвука [3]. Обнаружение продольного порыва конвейерной ленты осуществляется с помощью ультразвукового излучения, направляемого в место контроля. Устройство имеет излучатель и приемник, и в случае порыва ленты на приемник не поступает сигнал. Устройство обладает высоким быстродействием. К недостаткам следует отнести то, что после ремонта конвейерной ленты изменяется ее локальная звукопроводимость, кроме того, проблемы возникают из-за износа бортов конвейерной ленты. Для повышения надежности срабатывания и снижения вероятности ложных срабатываний разработано устройство, основанное на использовании ультразвука, которое контролирует одновременно ширину ленты и ее звукопроводимость [4].

В устройствах [5, 6] применяются метод облегченной сверточной нейронной сети для обнаружения повреждений конвейерной ленты и мультиспектральный визуальный метод обнаружения продольного разрыва конвейерной ленты. Эти способы предполагают использование видеокамер, поэтому имеют ограничения применения в запыленной среде.

Получили распространение устройства, в которых используется магнитное сканирование [7]. Кроме этого, используются устройства, в которых осуществляется генерация индуктивных токов в петле, встроенной в конвейерную ленту, с помощью передатчика, установленного на ставе конвейера, и регистрация этих токов с помощью приемника, находящегося также на ставе конвейера [8, 9]. Недостатком таких устройств является возможность влияния внешних электромагнитных полей от проводников систем с частотным регулированием.

Наиболее перспективным направлением решения проблемы обнаружения продольного порыва можно считать передачу энергии в виде электромагнитных полей по поперечному сечению конвейерной ленты. Однако в связи с большим количеством наводок во встроенной в конвейерную ленту петле в условиях шахты могут возникать сложности при считывании информации приемником. Кроме этого, в таких устройствах необходимо экранирование передатчика от приемника.

Для повышения надежности работы УОПП на кафедрах горных машин и комплексов и электропривода и автоматизации КузГТУ разработано устройство, в котором передатчик и источник питания располагаются в конвейерной ленте [10]. Источник питания и передатчик соединяются проводами, проходящими поперек ленты. На ставе конвейера в определенных местах устанавливаются приемники. В случае целостности соединительных проводов постоянный магнит, установленный на ставе конвейера, включает геркон, передатчик посылает сигнал на приемник, находящийся также на ставе конвейера, который принимает этот сигнал, далее логический блок обрабатывает информацию. В случае продольного порыва конвейерной ленты соединительные провода обрываются, передатчик не посылает сигнал, логический блок формирует команду для отключения конвейера. Предложены несколько вариантов структурных схем УОПП с минимальным влиянием электромагнитных помех. Сформулированы требования к передатчику и приемнику.

В связи с малыми габаритами датчика разрыва, устанавливаемого в ленту, рассмотрены наиболее простые и надежные схемные решения. Таким требованиям отвечает параметрический передатчик, в котором может использоваться всего один активный элемент, выполняющий функцию модулятора и усилителя. Недостатком данной конструкции является зависимость параметров передающего устройства – частоты и амплитуды несущей – от параметров элементов схемы, которые изменяются при изменении температуры окружающей среды. Это существенно влияет на качество связи при передаче аналогового сигнала. Для стабилизации несущей частоты находят применение кварцевые резонаторы, резонансная частота которых изменяется



незначительно при изменении температуры окружающей среды. Однако использование кварцевых резонаторов в параметрических передатчиках приводит к искажению формы модулированного сигнала. При передаче цифрового сигнала искажения модулированного сигнала не окажут большого влияния на качество связи.

Целью работы является разработка конструкции передатчика, удовлетворяющего следующим требованиям: вид передатчика – параметрический, стабилизация частоты несущей должна осуществляться при помощи кварцевого резонатора, сигнал – цифровой.

Методы исследования

Обоснование выбора параметров передатчика и приемника

Частота несущей передатчика должна превышать наибольшую частоту типовых электроприемников в шахте более чем в 20 раз [10]. Типовым электроприемником в шахте является электропривод с преобразователем частоты, частота модуляции преобразователя по условиям работы силовых ключей не превышает 20 кГц, поэтому частота передатчика должна быть более 400 кГц (ограничение снизу).

Для стабилизации частоты модуляции схемы используются кварцевые резонаторы, максимальная основная частота и размеры которых приведены в Таблице 1 (ограничение частоты сверху) [11].

Таблица 1. Параметры кварцевых резонаторов

Table 1. Parameters of quartz resonators

Наименование	Производитель	Частота, МГц	Размеры (Д×Ш×В), мм
КХ-9А	Geyer	130	5 × 3 × 1
АВМ8-166-114.285МНЗ-Т	АВРАСОН	114,285	3,2 × 2,5 × 0,8
КХ-5Е	Geyer	96	2 × 1,6 × 0,45

Из Таблицы 1 видно, что параметры резонансных частот кварцевых резонаторов ограничиваются частотой 130 МГц. При этом размеры резонатора на 130 МГц гораздо больше размеров резонатора на 96 МГц. Исходя из требований к размерам передатчика [10], частота передатчика ограничивается сверху значением 96 МГц. Таким образом, частота передатчика должна быть больше 400 кГц, но меньше 96 МГц.

Эффективность передачи напрямую зависит от отношения длины антенны к длине волны радиоизлучения $L_{\text{ант.}}/\lambda$. Чем меньше данное отношение, тем меньше полезная мощность передатчика. Кроме того, в пользу более высокой частоты выступает тот факт, что направленность антенны тем выше, чем выше частота передачи, а следовательно, необходимо меньше энергии для передачи информации на заданное расстояние. Таким образом, наилучшее значение частоты передатчика – 96 МГц.

Обоснование минимальных возможных мощности передатчика и чувствительности приемника с точки зрения минимизации потерь передачи

Формула, связывающая мощность передатчика, коэффициент усиления приемной антенны и эффективную площадь передающей и приемной антенн (формула Фрииса) [12]:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{D_1 A_2}{4\pi r^2} = D_1 D_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 = \frac{A_1 A_2}{\lambda^2 r^2}, \quad (1)$$

где A_1, A_2 – эффективные площади антенн передатчика и приемника [ср]; D_1, D_2 – коэффициенты направленного действия (к.н.д.) антенн передатчика и приемника; r – расстояние между передатчиком и приемником [м]; λ – длина радиоволны [м]; P_1, P_2 – мощность сигнала на передающей и приемной антеннах [дБ].

В выражении (1) надо учитывать, что к.н.д. и эффективные площади антенн зависят как от их конструкции, так и от длины радиоволны, поэтому использовать формулу (1) необходимо



совместно с зависимостями A_1 , A_2 , D_1 , D_2 конкретной антенны от длины волны и других конструктивных параметров.

Эффективная площадь направленных антенн не зависит от частоты, следовательно, мощность принимаемого сигнала пропорциональна эффективной площади антенны A_2 , которая не зависит от частоты радиосигнала.

Мощность сигнала на приемнике также зависит от затухания в среде, в которой он распространяется, поэтому в формулу (1) вводится мощность потерь dP , вычитаемая из P_1 :

$$\frac{P_2}{P_1 - dP} = \frac{D_1 A_2}{4\pi r^2}.$$

В идеальном диэлектрике, как и в свободном пространстве, потери мощности отсутствуют. Расчет потерь мощности радиосигнала при прохождении через реальный диэлектрик производится по значениям проводимости и диэлектрической проницаемости диэлектрика. Параметры различных диэлектриков представлены в Таблице 2. Расчет проводимости выполнялся по формуле

$$\sigma = 0,05563 \varepsilon_r' \operatorname{tg}(\delta) f_{\Gamma\Gamma\text{ц}},$$

где ε_r' – относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика; $\operatorname{tg}(\delta)$ – тангенс угла диэлектрических потерь; $f_{\Gamma\Gamma\text{ц}}$ – частота радиоволны в ГГц.

Таблица 2. Удельные потери мощности радиосигнала в различных средах [12]

Table 2. Specific losses of radio signal power in various environments [12]

Диэлектрик	Относительная диэлектрическая проницаемость, ε_r'	Тангенс угла диэлектрических потерь, $\operatorname{tg}(\delta)$	Проводимость, σ [см/м] при частоте $f_{\Gamma\Gamma\text{ц}} = 0,43392$ ГГц
Полипропилен	2,2-2,4	0,0002-0,0005	0,00001087-0,0000296
Поливинилхлорид	3-5	0,03-0,08	0,002222-0,009878
Резина	2,5-5	0,01-0,03	0,000617382-0,003704

Для определения мощности потерь при распространении радиоволны в среде необходимо вычислить коэффициент ослабления, дБ/м:

$$A_{\text{диэл}} = 1636 \frac{\sigma}{\varepsilon_r'}.$$

Значения коэффициента ослабления для различных материалов представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Коэффициент ослабления для различных материалов

Table 3. Attenuation coefficient for various materials

Диэлектрик	Коэффициент ослабления $A_{\text{диэл}}$, дБ/м
Полипропилен	0,008-0,020
Поливинилхлорид	1,212-3,232
Резина	0,404-1,212

Между передатчиком и приемником находится слой резиноканевой ленты конвейера толщиной L_1 и свободное пространство, равное $L_2 = 150$ мм, где $L_1 + L_2 = r$. В свободном пространстве радиоволна не затухает, т. е. потери мощности равны 0 дБ.

Мощность потерь связана с коэффициентом ослабления:

$$dP = A_{\text{диэл}} L_1.$$

Толщина резиноканевой ленты и расчетная мощность потерь в ней приведены в Таблице 4.

Таблица 4. Толщина резиноканевой ленты конвейера и потери мощности радиоволны в ней



Table 4. Thickness of the rubber-fabric conveyor belt and loss of radio wave power in it

Тип резиноканевой ленты конвейера	Толщина ленты, мм	Мощность потерь радиоволны в ленте dP, дБ
2ШТС	18,2-35,2	0,022-0,044
1,2 ШМ	18,4-36,0	0,022-0,043

Для расчета требуемой мощности на передатчике и коэффициента усиления приемника необходимо выбрать тип антенн передатчика и приемника.

Выбор типа антенн передатчика и приемника

Антенна передатчика должна удовлетворять требованиям:

- малый периметр (<40 мм);
 - толщина не более 0,5 мм;
 - отсутствие заземления;
 - низкая чувствительность к изменению взаимного ориентирования с антенной приемника.
- Длина волны радиоизлучения определяется по формуле

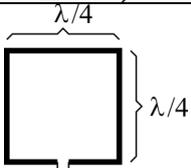
$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где $c = 299792458$ [м/с] – скорость света. В этом случае на частоте $f = 96$ МГц $\lambda = 3,1228$ м.

Габаритные размеры наиболее эффективной антенны соизмеримы с длиной волны, поэтому ввиду ограничений на размер антенны, приведенных выше, эффективность антенны будет низкой. Типы антенн приведены в Таблице 5.

Таблица 5. Типы антенн, их достоинства и недостатки

Table 5. Types of antennas, their advantages and disadvantages

Тип антенны	Достоинства	Недостатки
Диполь 	Простота конструкции	Длина $\lambda/2$, приемный сигнал зависит от поляризации радиоволны
Антенна типа Т 	Габаритные размеры: длина $\lambda/4$, ширина $\lambda/8$	Разная эффективность передачи при различной поляризации радиоволн
Коллинеарная антенна 	Высокий коэффициент усиления	Большие габаритные размеры 2λ
Петлевая (рамочная) антенна 	Малые габаритные размеры: периметр = λ , эффективность передачи одинаковая при различной поляризации радиоволны	Не направленная, вследствие чего обладает низкой эффективностью

Исходя из достоинств и недостатков различных типов антенн, была выбрана петлевая (рамочная) антенна. Петлевую (рамочную) антенну конструктивно можно выполнить в виде дорожки на печатной плате.

Результаты

Схема передатчика. Расчет. Исследование

Схема передатчика основана на автогенераторе колебаний Колпитца. Существует несколько вариантов данного автогенератора на транзисторах. Для того, чтобы генератор возбуждался устойчиво при низком напряжении источника питания (в соответствии с требованиями – от 1 до 1,5 В), выбрана схема с сильной положительной обратной связью (Рис. 1, проводник от С1, С2 к R3). В качестве генератора предлагается применить схему генератора Колпитца с сильной положительной обратной связью [14].

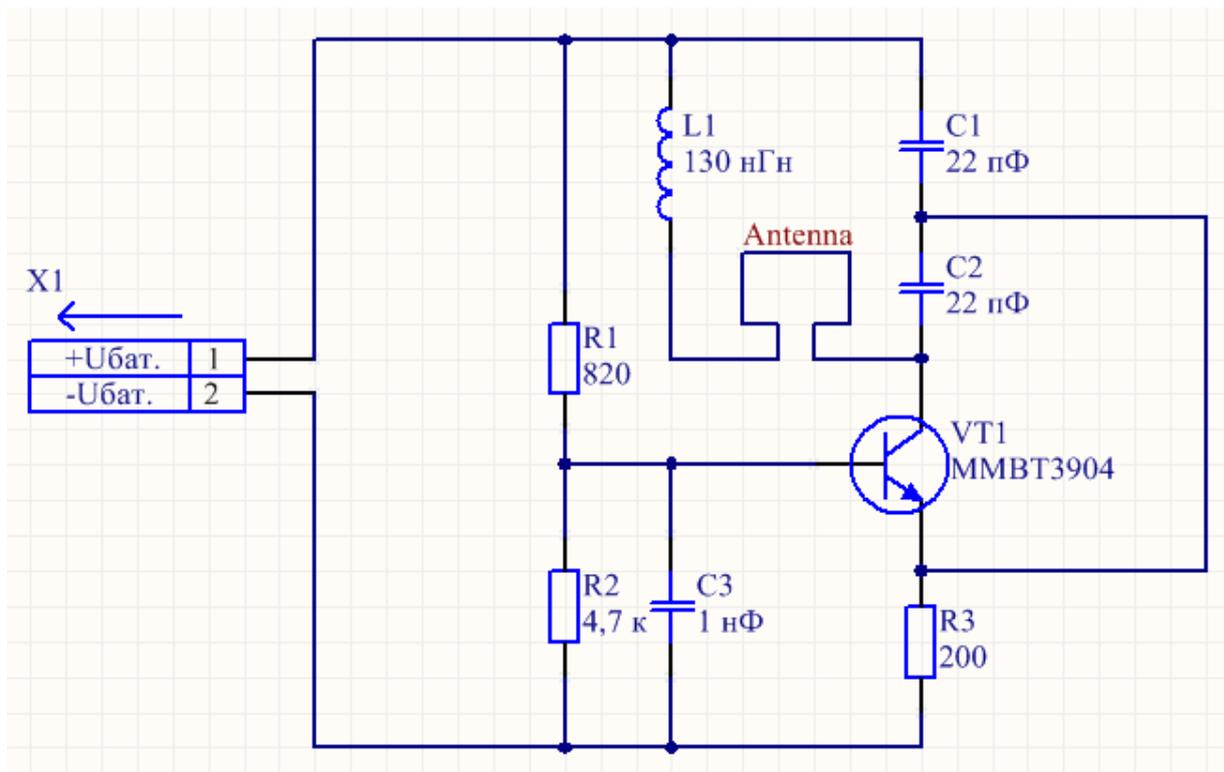


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема передатчика на автогенераторе Колпитца: $U_{\text{бат}+}$, $U_{\text{бат}-}$ – контакты гальванического элемента питания, Antenna – петлевая антенна в виде печатного проводника

Fig. 1. Schematic diagram of a transmitter on a Colpitts self-oscillator: $U_{\text{бат}+}$, $U_{\text{бат}-}$ – contacts of the galvanic battery, Antenna – loop antenna in the form of a printed conductor

Назначение элементов принципиальной электрической схемы на Рис. 1 следующее. Сопротивление $R2$ и конденсатор $C3$ предназначены для задания и стабилизации напряжения смещения базы транзистора $VT1$. Сопротивление $R1$ задает напряжение смещения базы транзистора $VT1$, а также способствует открыванию транзистора $VT1$ в первый момент подачи питания на схему. Сопротивление $R3$ задает ток, подаваемый на антенну, а следовательно, мощность излучения. Катушка индуктивности $L1$ и конденсаторы $C1$ и $C2$ образуют колебательный контур, резонансная частота которого и является частотой радиосигнала. Схема на Рис. 1 работает следующим образом: при подаче питания на разъем $X1$ от гальванического элемента питания подается напряжение на базу транзистора $VT1$, в результате чего он открывается, и по цепи « $X1-C1-C2-VT1-R3-X1$ » начинает возрастать ток. Через $1/4$ периода резонансного колебания контура « $L1-C1-C2$ » через катушку индуктивности $L1$ ток увеличивается до максимального значения, а конденсаторы $C1$ и $C2$ заряжаются до $1/2$ напряжения питания. После этого транзистор $VT1$ закрывается вследствие возрастания падения напряжения на сопротивлении $R3$ и снижения напряжения база-эмиттер. Вместе с тем конденсаторы $C1$ и $C2$ разряжаются на катушку индуктивности $L1$, и через $1/4$ периода резонансного колебания напряжение на конденсаторах снизится до 0. Затем под действием самоиндукции на катушке индуктивности появляется ЭДС встречного направления и конденсаторы $C1$ и $C2$ перезаряжаются. Одновременно с этим транзистор $VT1$ начинает открываться, способствуя перезаряду конденсаторов $C1$ и $C2$ и изменению направления тока катушки индуктивности. Затем цикл повторяется.

Для расчета параметров элементов резонансного контура зададимся индуктивностью катушки $L1$, исходя из допустимых габаритных размеров $L1 = 130$ [нГн].

Емкость колебательного контура вычислим по формуле [15]:

$$C_{рез} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_1}$$

Для резонансной частоты $f = 96$ МГц и индуктивности $L_1 = 130$ нГн емкость резонансного контура $C_{рез} = 21$ пФ.

Емкости конденсаторов C_1 и C_2 :

$$C_1 = C_2 = C_{рез} = 21 \text{ пФ.}$$

Выбираем ближайшее возможное значение из ряда номинальных емкостей:

$$C_1 = C_2 = 22 \text{ пФ.}$$

Сопротивления R_1 и R_2 задают напряжение смещения базы транзистора VT_1 . Для транзистора ММВТ3904 при токе коллектора $I_c = 4$ мА напряжение базы должно быть от 0,7 В (при температуре 25°C) до 0,85 В (при температуре -55°C). Выбираем наибольшее из представленных значений ($U_{be} = 0,85$ В).

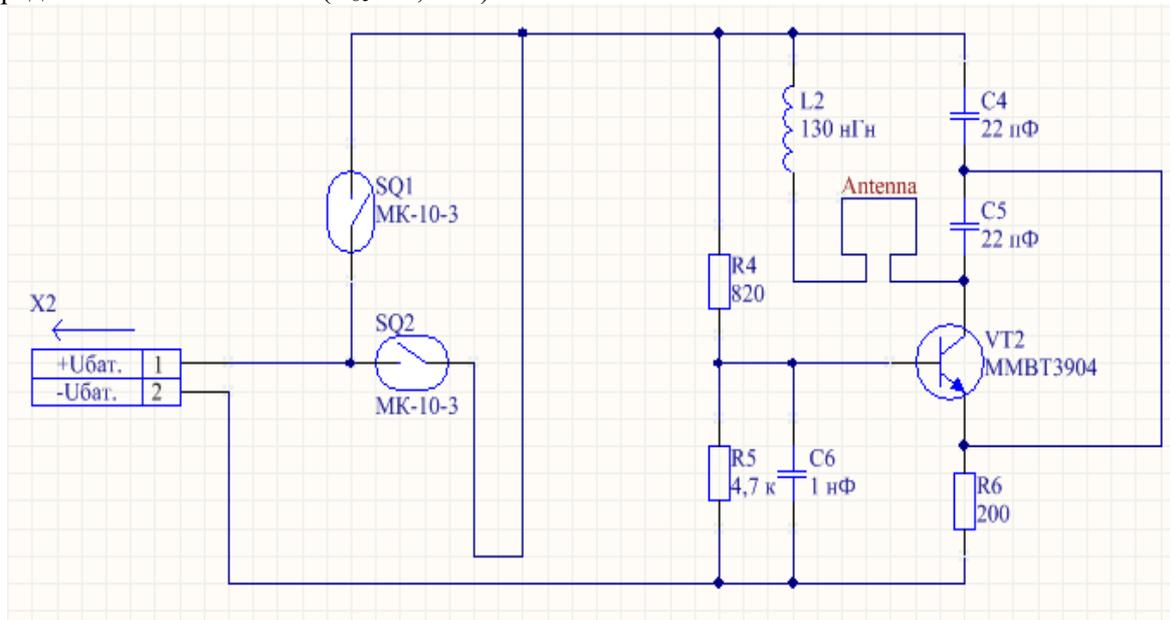


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема датчика разрыва ленты с двумя герконами

Fig. 2. Circuit diagram of the tape break sensor with two reed switches

Ток базы:

$$I_b = \frac{I_c}{h_{fe}}$$

где h_{fe} – коэффициент усиления тока базы транзистора в схеме с общим эмиттером ($h_{fe} = 140$ для ММВТ3904). При токе коллектора $I_c = 4$ мА ток базы $I_b = 28,6$ мкА.

Максимальное значение сопротивления R_1 можно рассчитать по формуле

$$R_{1\max} = \frac{U_{бат} - U_{be}}{I_b}$$

Принимая $U_{бат} = 1$ В и $U_{be} = 0,85$ В, получаем $R_{1\max} = 5, 224$ кОм.

Значение сопротивления R_1 влияет на скорость установления автоколебаний генератора, поэтому примем значение $R_1 = 820 \text{ Ом}$.

Сопротивление R_2 определяется по выражению

$$R_2 = \frac{U_{be}}{U - U_{be}} R_1$$

и составляет 4,7 кОм.

Исследование схемы с двумя герконами

На основании структурной схемы датчика разрыва ленты с двумя герконами [10] разработана принципиальная электрическая схема, представленная на Рис. 2.

Исследование представленной схемы выполнялось в среде LTSpice XVII на модели, представленной на Рис. 3.

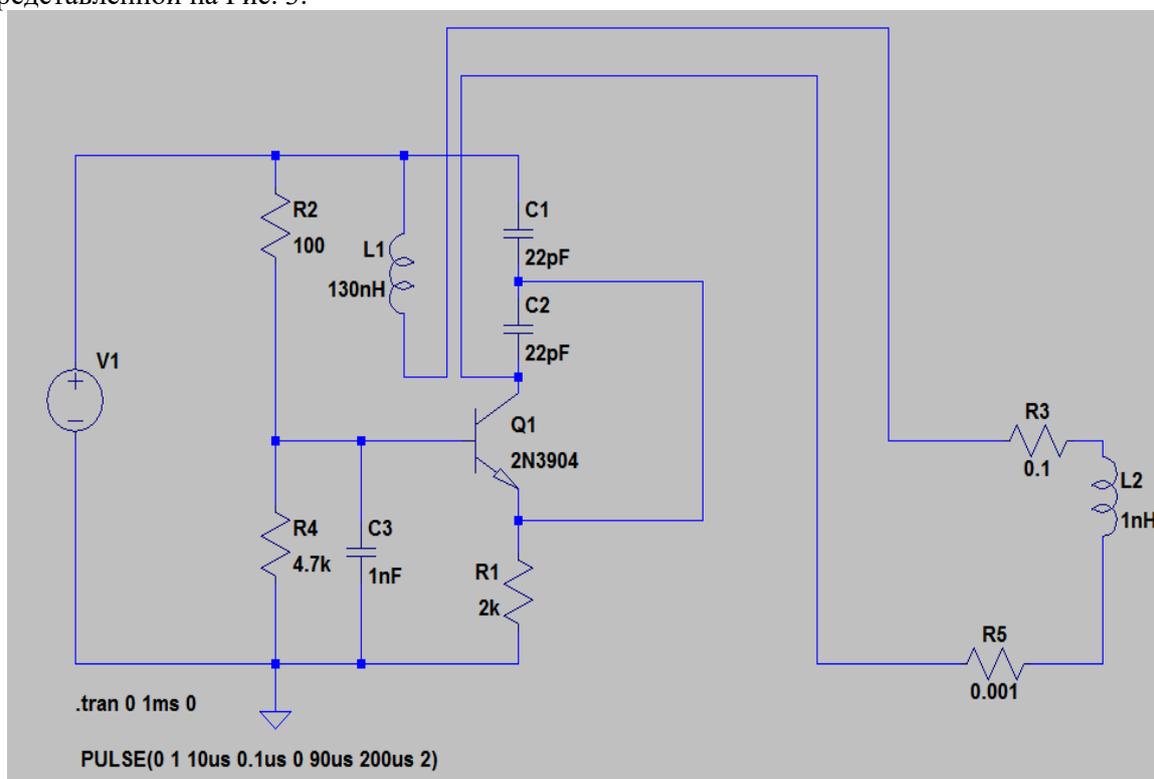


Рис. 3. Модель датчика разрыва ленты с двумя герконами в среде LTSpice XVII: R3, R5, L2 – активные сопротивления и индуктивность петлевой антенны

Fig. 3. Model of a tape break sensor with two reed switches in the LTSpice XVII environment: R3, R5, L2 – active resistance and inductance of the loop antenna

Геркон SQ1 устанавливается с одной стороны ленты, а геркон SQ2 – с другой, таким образом, чтобы соответствующие магниты вызывали замыкание герконов поочередно. Геркон SQ2 подключается через соединительный провод (чувствительный элемент ЧЭ). При обрыве соединительного провода замыкание геркона SQ2 не приводит к включению передатчика, следовательно, приемник получит только один импульс (при замыкании геркона SQ1).

Результаты моделирования для напряжения питания 1 В представлены на Рис. 4, 5, для напряжения питания 1,5 В – на Рис. 6, 7.

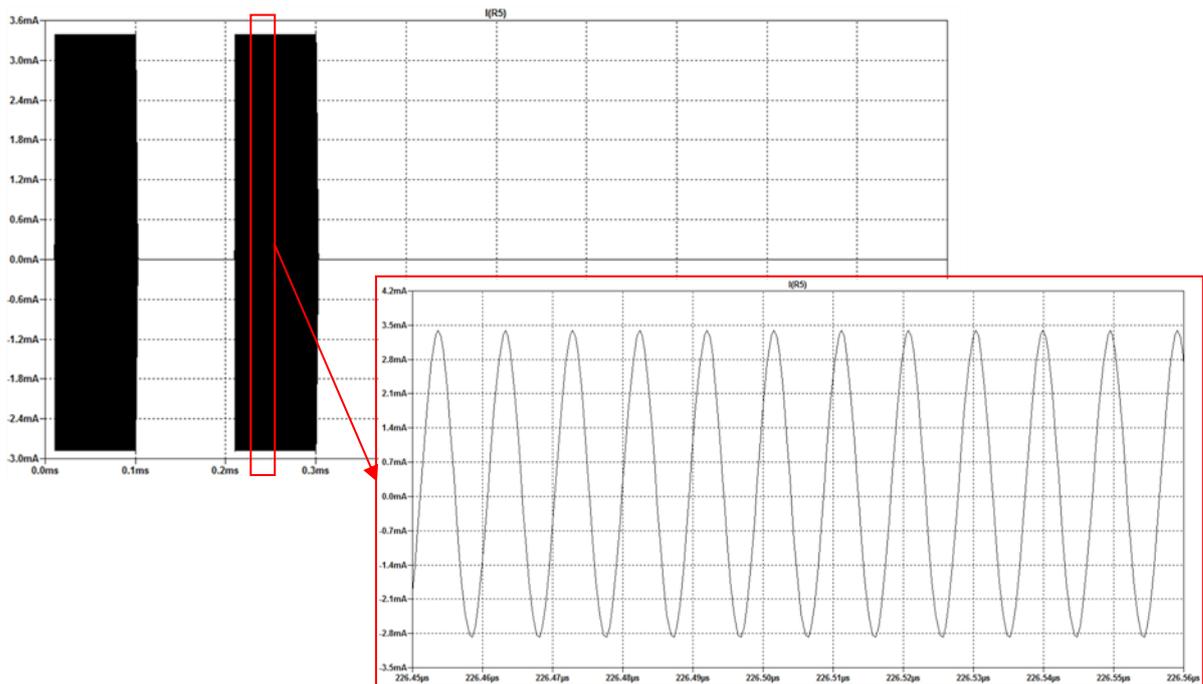


Рис. 4. Временная зависимость тока петлевой антенны при питании передатчика от источника напряжения 1 В, полученная в программе LTSpice XVII

Fig. 4. Time dependence of the loop antenna current when powering the transmitter from a voltage source of 1 V, obtained in the LTSpice XVII program

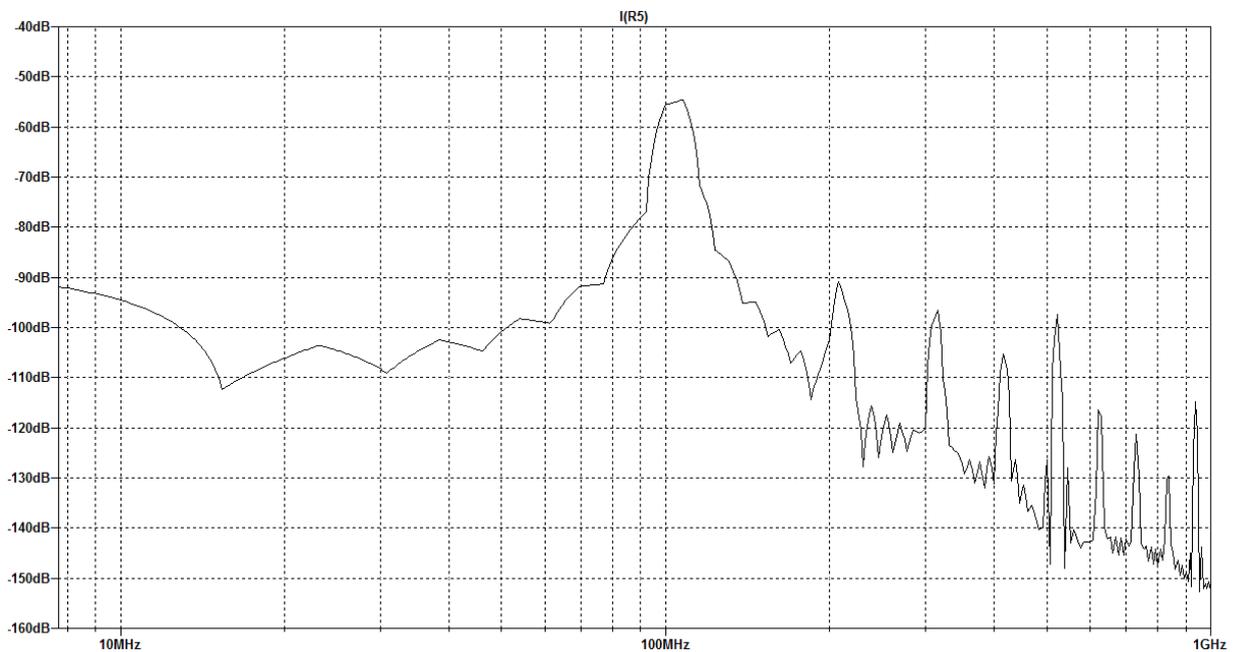


Рис. 5. Спектр тока антенны передатчика при питании от источника напряжения 1 В, полученный в среде LTSpice XVII

Fig. 5. Transmitter antenna current spectrum when powered by a 1 V voltage source, obtained in the LTSpice XVII environment

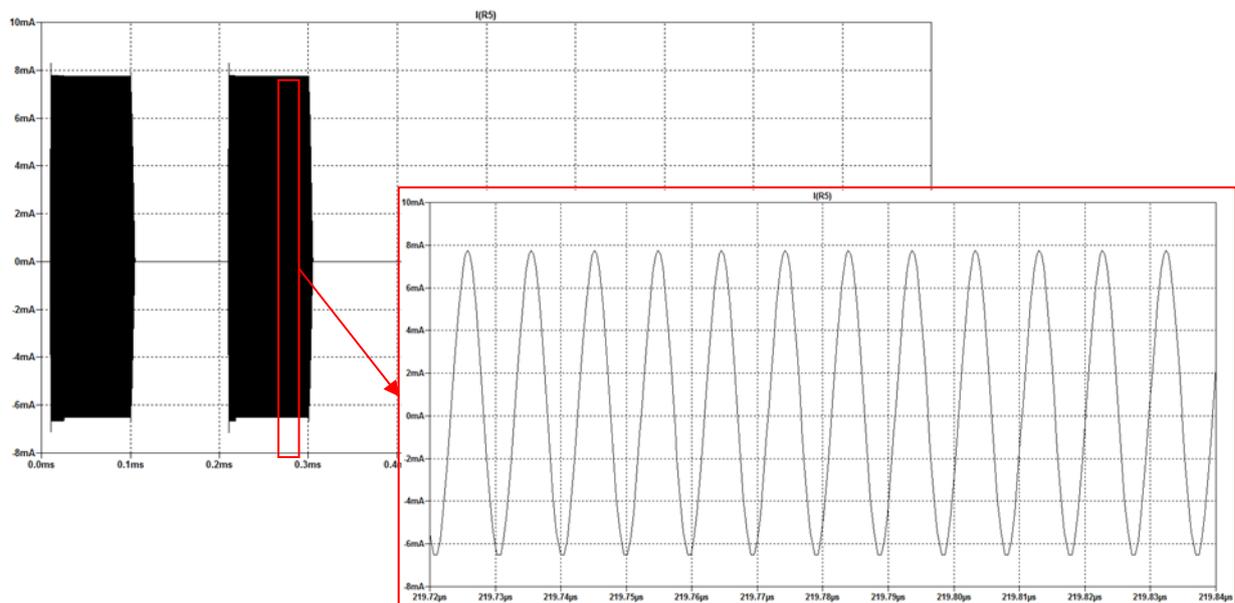


Рис. 6. Временная зависимость тока антенны передатчика при питании от источника напряжения 1,5 В, полученная в среде LTSpice XVII
Fig. 6. Time dependence of the transmitter antenna current when powered from voltage source 1.5 V, obtained in the LTSpice XVII environment

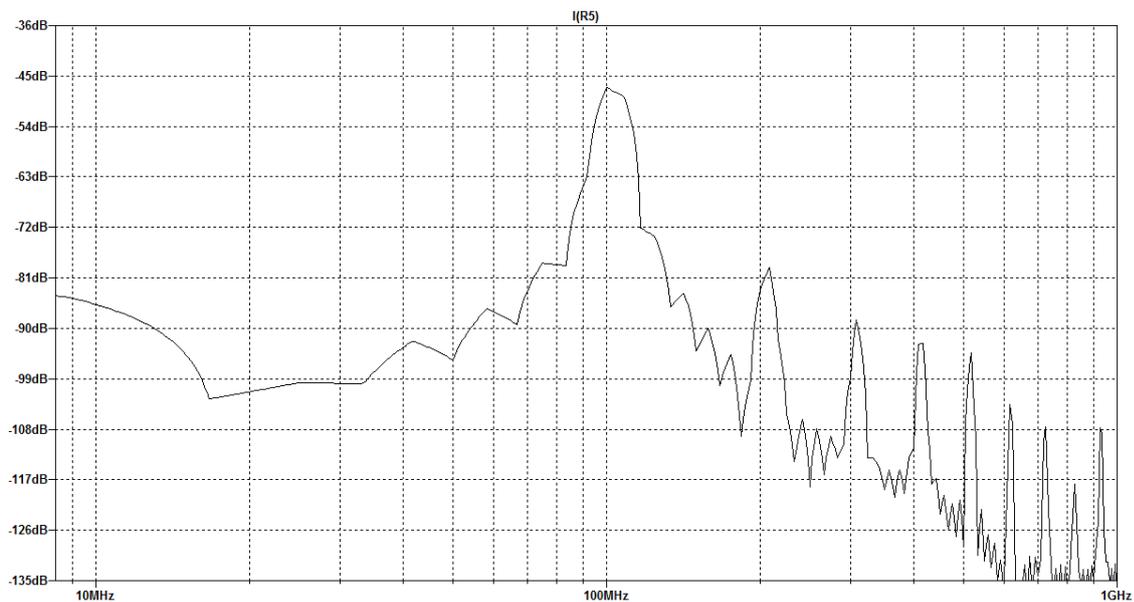


Рис. 7. Спектр тока антенны передатчика при питании от источника напряжения 1,5 В, полученный в среде LTSpice XVII
Fig. 7. Transmitter antenna current spectrum when powered from a source voltage 1.5 V, obtained in the LTSpice XVII environment

При моделировании работы схемы значение сопротивления R2 было изменено с 820 Ом на 100 Ом, значение сопротивления R1 было изменено с 200 Ом на 2 кОм. При указанных значениях достигается амплитуда тока на антенне 4 мА, что допустимо с точки зрения минимизации энергопотребления датчика разрыва при питании от гальванического элемента питания.

Из графиков на Рис. 4 и 6 можно сделать вывод, что автогенератор возбуждается с малым временем задержки (< 5 мкс) при напряжении питания от 1 до 1,5 В, что позволяет передавать 1 бит закодированной информации за короткий промежуток времени (за 10 мкс).

При моделировании время включения герконов установлено на уровне 90 мкс, но может быть увеличено.

Из графиков на Рис. 5, 7 видно, что при указанных параметрах элементов схемы первая гармоника сигнала имеет преобладающее значение по отношению к следующим гармоникам (разница между амплитудой первой и второй гармоник – 30 дБ), т. е. передатчик не будет оказывать влияние на приемники высшего частотного диапазона (диапазона беспроводной сети WiFi, например).

Исследование схемы с одним герконом

На основании структурной схемы датчика разрыва ленты с одним герконом [10] разработана принципиальная электрическая схема, представленная на Рис. 8.

Схема на Рис. 8 использует дополнительно кодер информации, собранный на резисторах R7 – R11, R15, R16, конденсаторах C9, C10, C12, транзисторах VT4, VT5, VT7 – VT9. Задача кодера состоит в формировании двух импульсов, разнесенных по времени при целостности соединительных проводов, подключенных к разъему X4, и одного импульса при их обрыве. Далее передатчик, собранный на резисторах R12 – R14, конденсаторах C7, C8, C11 и транзисторе VT6, передает импульсы от кодера на приемник логического блока, который должен по наличию импульсов определить состояние ленты.

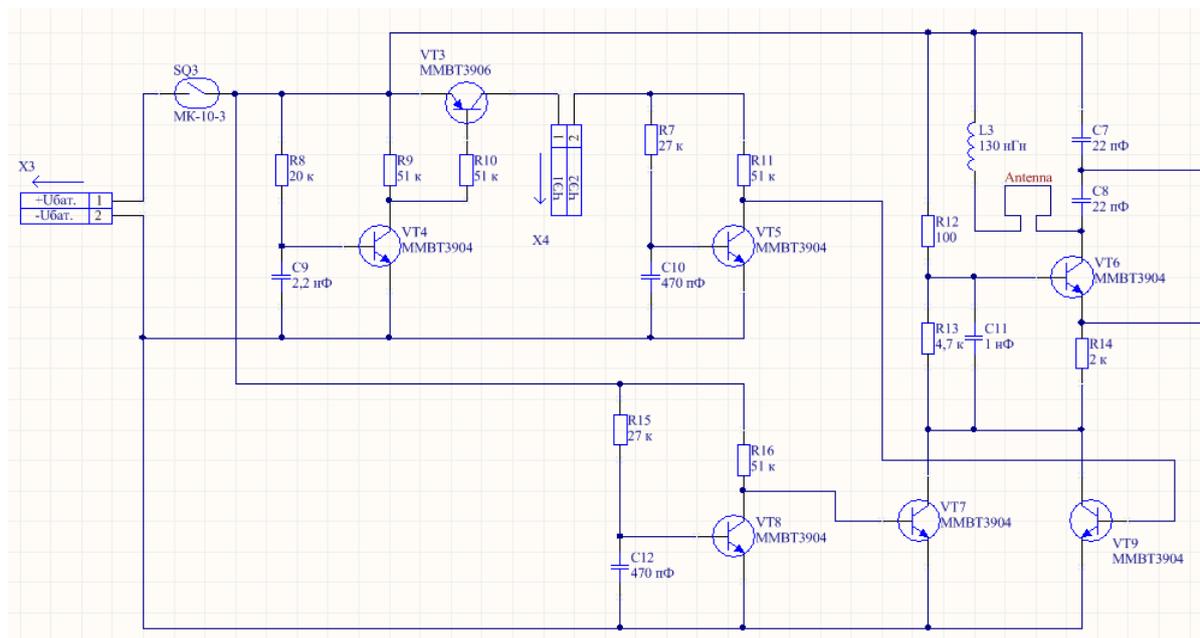


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема датчика разрыва ленты конвейера с одним герконом: X4 – разъем подключения соединительного провода (чувствительного элемента), X3 – разъем подключения гальванического элемента питания

Fig. 8. Circuit diagram of the conveyor belt break sensor with one reed switch: X4 – connector for connecting the connecting wire (sensitive element), X3 – connector for connecting the galvanic element nutrition

Исследование представленной схемы выполнялось в среде LTSpice XVII на модели, показанной на Рис. 9.

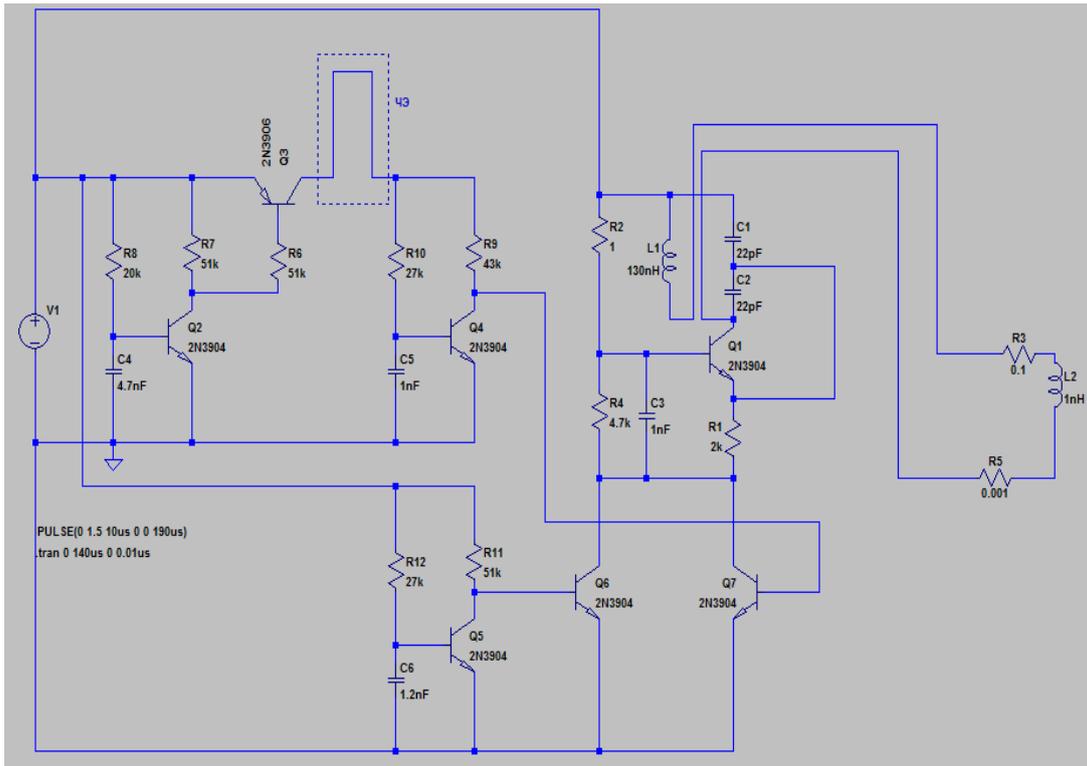


Рис. 9. Модель датчика разрыва ленты с одним герконом в среде LTSpice XVII:
ЧЭ – чувствительный элемент (соединительные провода) не разорван, R3, R5 – активные
сопротивления антенны, L2 – индуктивность антенны

Fig. 9. Model of a tape break sensor with one reed switch in the LTSpice XVII environment: ЧЭ (SE) – sensitive element (connecting wires) is not broken, R3, R5 – antenna active resistance, L2 – antenna inductance

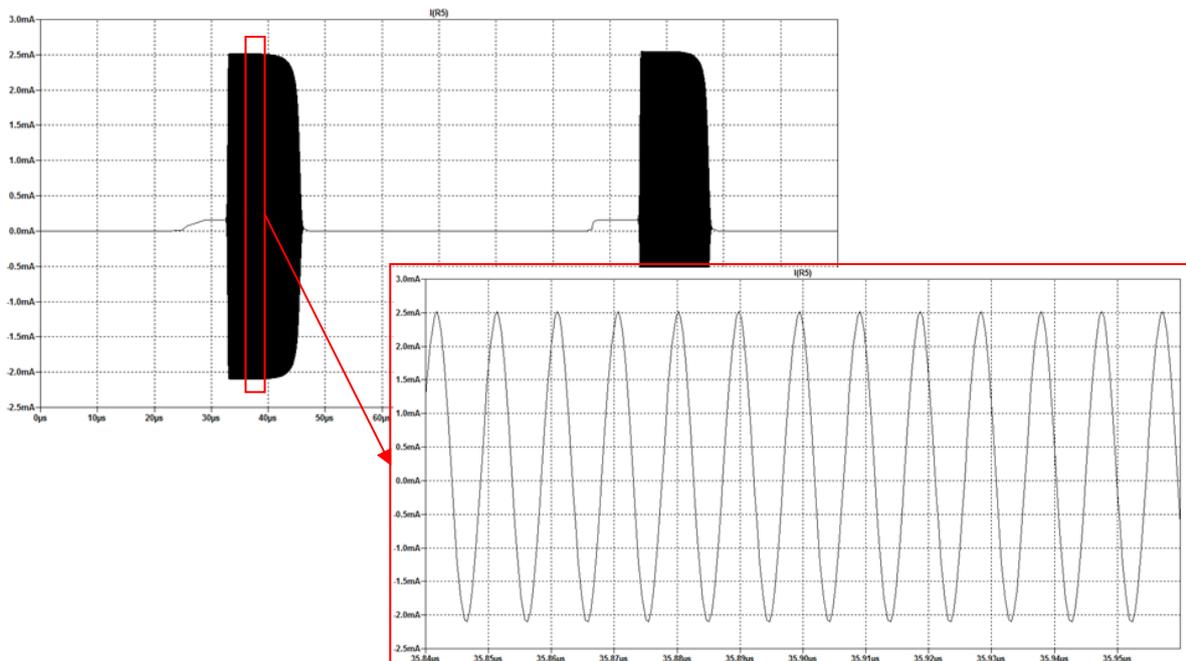


Рис. 10. Временная зависимость тока антенны передатчика при питании схемы от
источника напряжения 1 В без разрыва ЧЭ

Fig. 10. Time dependence of the transmitter antenna current when the circuit is powered from a
voltage source of 1 V without breaking the SE

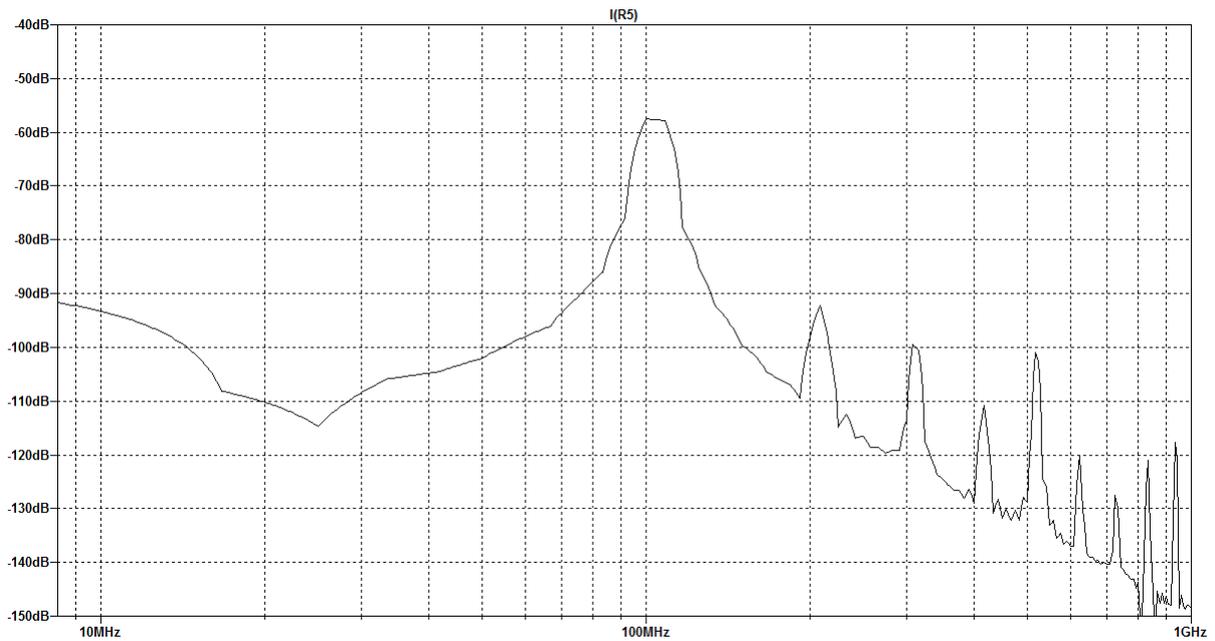


Рис. 11. Спектр тока антенны передатчика при питании схемы от источника напряжения 1 В без разрыва ЧЭ

Fig. 11. Current spectrum of the transmitter antenna when the circuit is powered from a voltage source of 1 V without breaking the SE

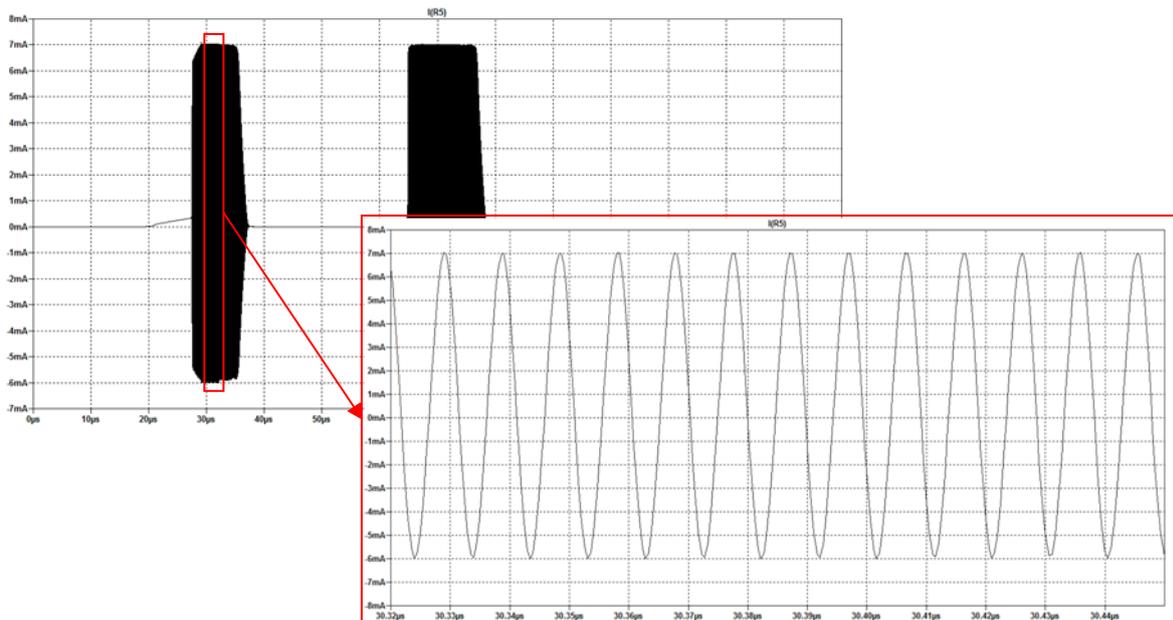


Рис. 12. Временная зависимость тока антенны передатчика при питании схемы от источника напряжения 1,5 В без разрыва ЧЭ

Fig. 12. Time dependence of the transmitter antenna current when the circuit is powered from a voltage source of 1.5 V without breaking the SE

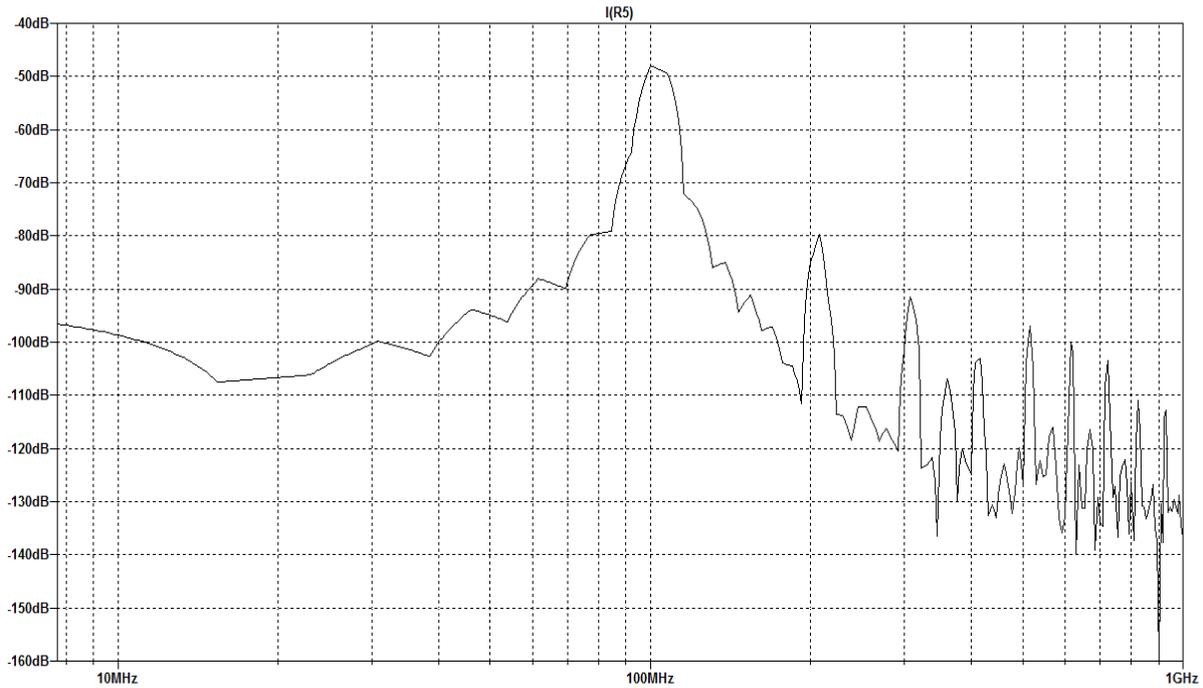


Рис. 13. Спектр тока антенны передатчика при питании схемы от источника напряжения 1,5 В без разрыва ЧЭ

Fig. 13. Transmitter antenna current spectrum when the circuit is powered from a source voltage 1.5 V without breaking the SE

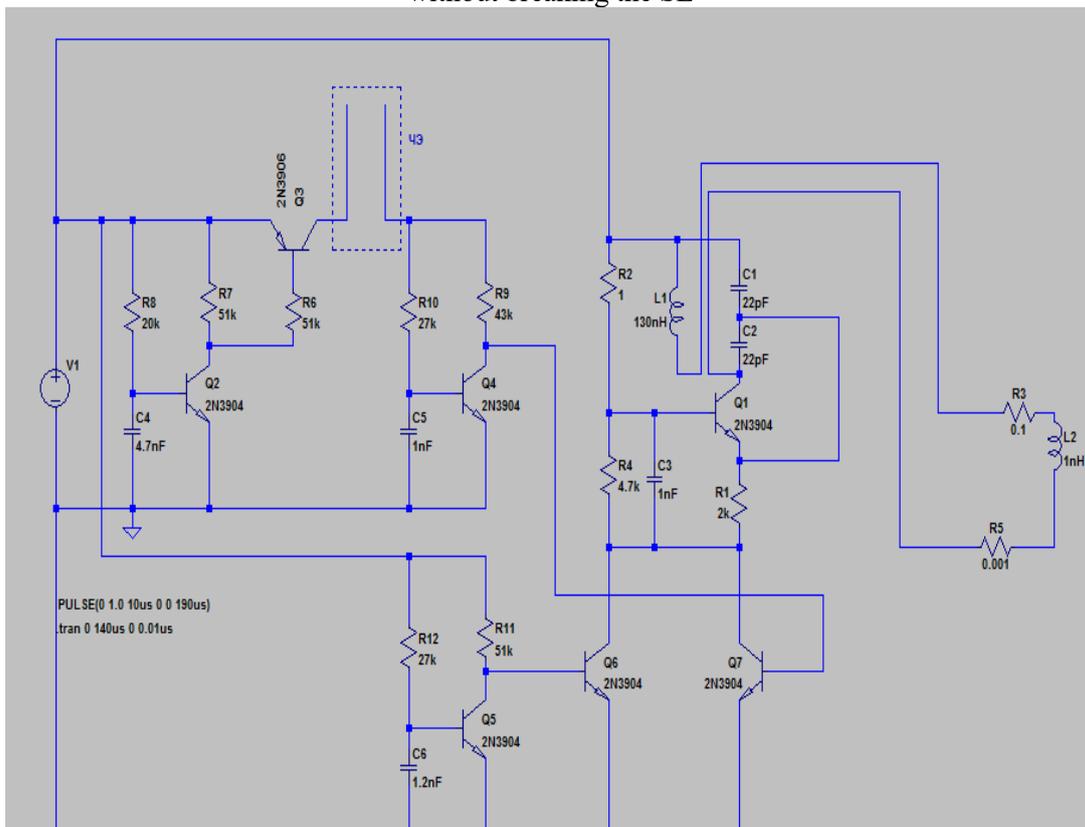


Рис. 14. Модель датчика разрыва ленты с одним герконом в среде LTSpice XVII (ЧЭ разорван)
Fig. 14. Model of a tape break sensor with one reed switch in the LTSpice XVII environment (SE is broken)

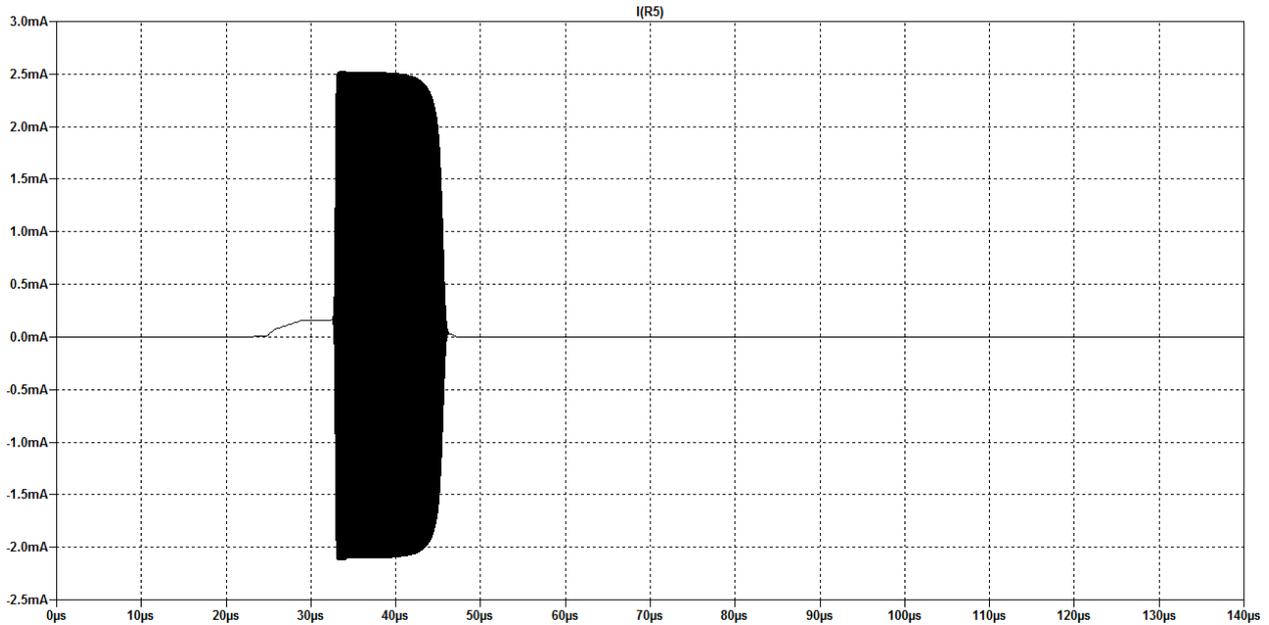


Рис. 15. Временная зависимость тока антенны передатчика при питании схемы от источника напряжения 1 В с разрывом ЧЭ

Fig. 15. Time dependence of the transmitter antenna current when the circuit is powered from a 1 V voltage source with a SE break

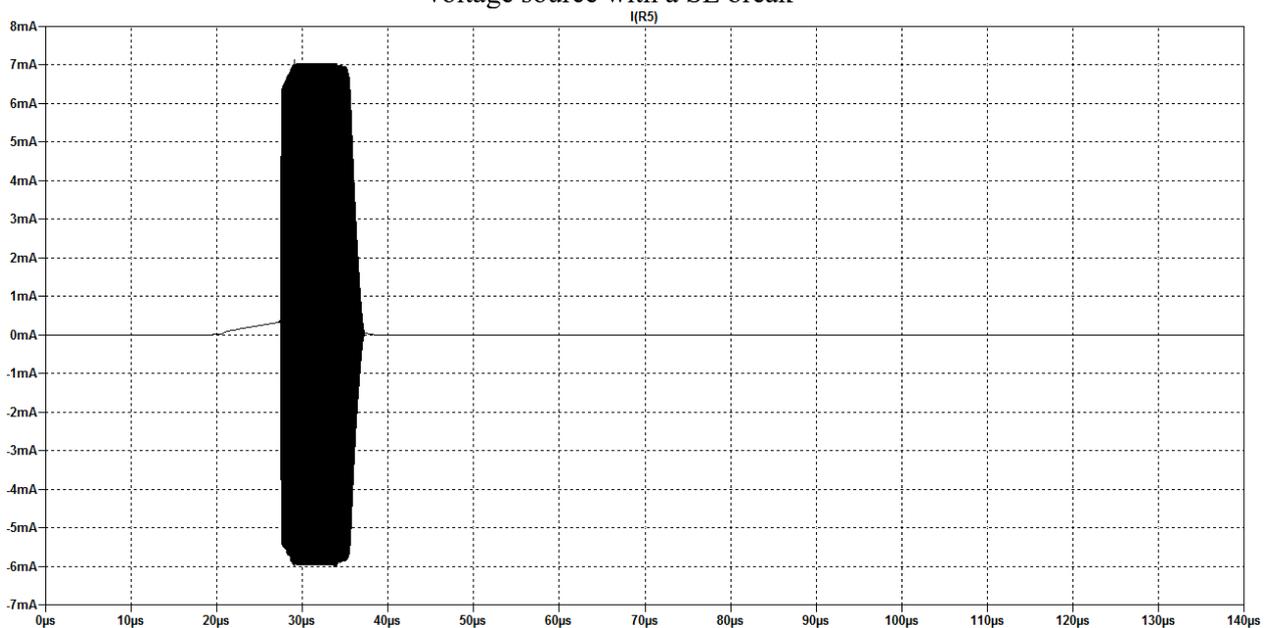


Рис. 16. Временная зависимость тока антенны передатчика при питании схемы от источника напряжения 1,5 В с разрывом ЧЭ

Fig. 16. Time dependence of the transmitter antenna current when the circuit is powered from a voltage source of 1.5 V with a SE break

На Рис. 10, 11 показаны результаты моделирования схемы датчика разрыва ленты при питании от источника напряжения 1 В без разрыва ЧЭ (генерируется два импульса). При питании от источника напряжения 1,5 В без разрыва ЧЭ генерируются также два импульса, результаты моделирования показаны на Рис. 12, 13.

Модель датчика разрыва ленты при разорванном ЧЭ представлена на Рис. 14.



На Рис. 15 показаны результаты моделирования схемы датчика разрыва ленты при питании от источника напряжения 1 В с разрывом ЧЭ (генерируется один импульс).

Результаты моделирования схемы датчика разрыва ленты при питании от источника напряжения 1,5 В с разрывом ЧЭ (генерируется один импульс) показаны на Рис. 16.

Из графиков на Рис. 11, 13 видно, что первая гармоника сигнала значительно превышает вторую и последующие, следовательно, влияние передатчика на высший частотный диапазон (например, на беспроводную сеть Wi-Fi) исключается. Из графиков на Рис. 10 и 12 видно, что длительность импульсов и интервал времени между импульсами зависят от напряжения питания, следовательно, по данным характеристикам импульсов можно определять уровень заряда гальванического элемента питания.

При обрыве ЧЭ генерируется один импульс, что позволяет логическому блоку диагностировать разрыв ленты конвейера (Рис. 15 и 16).

На основе проведенных исследований на полноразмерном конвейере 1Л80 в условиях лаборатории КузГТУ было изготовлено экспериментальное устройство обнаружения продольного порыва ленты (Рис. 17).

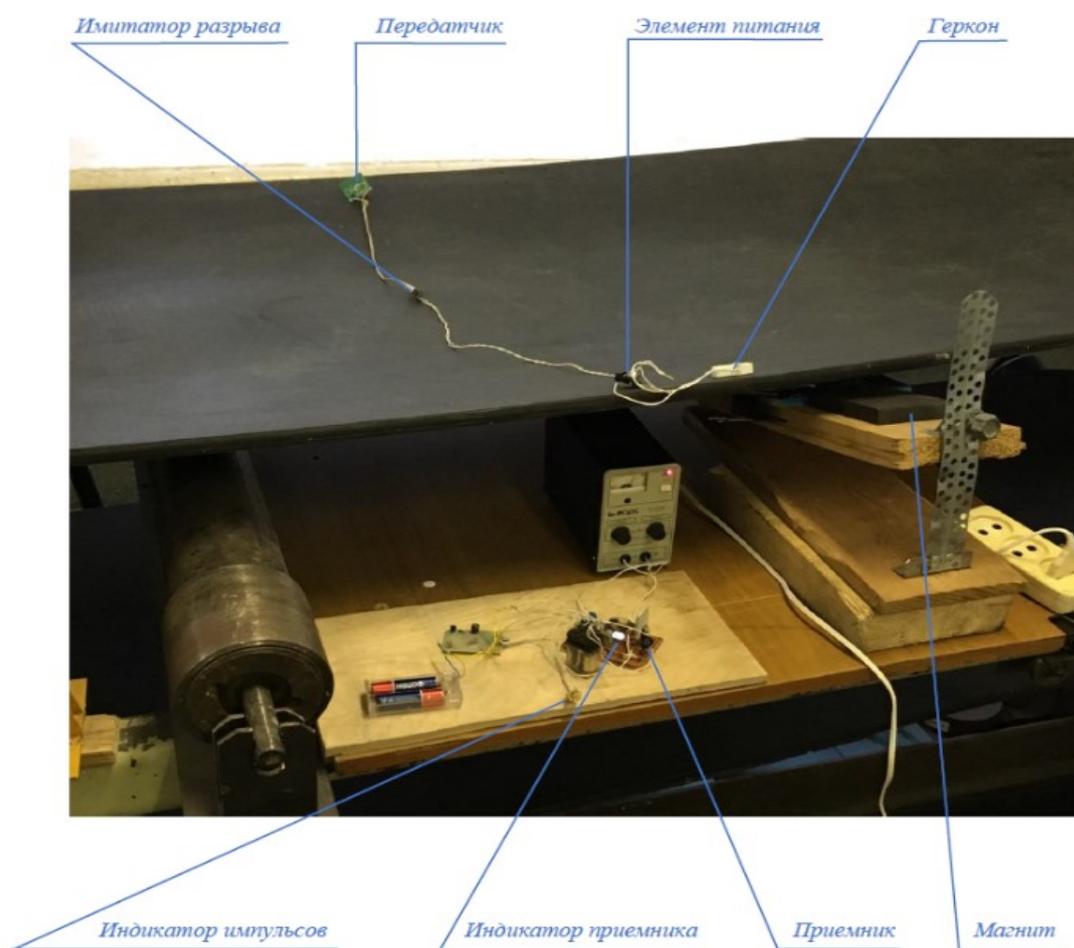


Рис. 17. Экспериментальное устройство обнаружения продольного порыва конвейерной ленты на ленточном конвейере 1Л80 в лабораторных условиях

Fig. 17. Experimental device for detecting a longitudinal tear of a conveyor belt on a 1L80 belt conveyor in laboratory conditions

На проводе (чувствительном элементе ЧЭ), проходящем поперек конвейерной ленты, устанавливался имитатор разрыва, позволяющий проверить работоспособность установки при целом проводе и при имитации его порыва. При включении конвейера через определенное время



геркон попадал в зону действия постоянного магнита и подавал питание на передатчик, который выдавал импульс на приемник, индикатор которого срабатывал при выключенном имитаторе разрыва и не срабатывал при включенном имитаторе разрыва.

Заключение

Таким образом, сформулированы требования, которым должна удовлетворять конструкция передатчика УОПП ленты с минимальным влиянием электромагнитных помех. Обоснован выбор параметров передатчика и приемника, выполнены расчеты потерь передачи, минимальной возможной мощности передатчика и минимальной возможной чувствительности приемника, выбран тип антенн передатчика и приемника, выбрана и рассчитана схема передатчика, основанная на автогенераторе колебаний Колпитца.

С целью выбора наиболее рациональной схемы датчика исследованы схемы датчиков с одним и двумя герконами. Показано, что наиболее перспективным решением является применение датчика с одним герконом, при этом влияние передатчика на высший частотный диапазон (например, на беспроводную сеть Wi-Fi) исключается, длительность импульсов и интервал времени между импульсами зависят от напряжения питания (1 В или 1,5 В), следовательно, по данным характеристикам импульсов можно определять уровень заряда гальванического элемента питания. При обрыве чувствительного элемента генерируется один импульс, что позволяет логическому блоку диагностировать разрыв ленты конвейера. Амплитуда тока на антенне достигает 4 мА, что допустимо с точки зрения минимизации энергопотребления датчика разрыва при питании от гальванического элемента питания.

Экспериментально подтверждена работоспособность предлагаемого экспериментального устройства обнаружения продольного порыва конвейерной ленты. В дальнейшем исследования будут направлены на оценку работы предложенной схемы с точки зрения высокой чувствительности и надежности срабатывания системы при обнаружении разрыва конвейерной ленты, низкой вероятности ложного срабатывания, невысоких стоимости и энергопотребления.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2024 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Информация об авторах

Григорьев Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации
e-mail: gav.eav@kuzstu.ru

Захаров Александр Юрьевич, доктор технических наук, профессор кафедры горных машин и комплексов
e-mail: zaharovau@kuzstu.ru

Захарова Алла Геннадьевна, доктор технических наук, профессор кафедры электропривода и автоматизации
e-mail: zaharovaag@kuzstu.ru

Шаулев Андрей Альбертович, аспирант кафедры электропривода и автоматизации
e-mail: shaulevaa@kuzstu.ru

Шаулева Надежда Михайловна, кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации
e-mail: shnm.eav@kuzstu.ru

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева
650000, Российская Федерация, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Список литературы



1. Zakharov A., Gerike B., Grigoryev A., Zakharova A. Analysis of Devices to Detect Longitudinal Tear on Conveyor Belts // E3S Web of Conferences. Vth International Innovative Mining Symposium. 2020. V. 174. № 03006. P. 8. DOI: 10.1051/e3sconf/202017403006.
2. Устройство контроля продольных разрывов ленты MESKOTEX KG. URL: <http://www.tecnosnab.com/documents/gurtlangsrissserfass-rus.pdf> (дата обращения: 19.12.2023).
3. Beltscan systems. Rip detections and condition monitoring. URL: <https://www.beltscan.com/products/belt-guard-10k-rip-detector-for-steel-cord-belts.html> (дата обращения: 25.02.2023).
4. Захарова А. Г., Захаров А. Ю., Лобур И. А., Шаулева Н. М. Устройство для обнаружения продольного порыва конвейерной ленты с использованием ультразвуковых датчиков // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 4 (162). С. 62–70.
5. Zhang M., Zhang Y, Zhou M. [et al.] Application of Lightweight Convolutional Neural Network for Damage Detection of Conveyor Belt // Applied sciences. 2021. № 11(16). Article 7282.
6. Hou C., Qiao T., Zhang H., Pang Y., and Xiong X. Multispectral visual detection method for conveyor belt longitudinal tear // Measurement. 2019. V. 143. P. 246–257.
7. Blazej R., Jurdziak L., Kirjanow A. et all. Evaluation of the quality of steel cord belt splices based on belt examination using magnetic techniques // Diagnostyka. 2015. V. 16. № 3. P. 59–64.
8. Becker. Mining systems. Belt management. URL: <https://www.becker-mining.com/en/products/%20mincos/belt-management> (дата обращения: 25.01.2023).
9. Rubex Group. Конвейерные ленты с контролем порыва. URL: <https://rubexgroup.ru/lenta-s-kontrolem-poryuva/> (дата обращения: 21.03.2023).
10. Захаров А. Ю., Григорьев А. В., Захарова А. Г. и др. Формирование структурной схемы устройства обнаружения продольного порыва конвейерной ленты с минимальным влиянием электромагнитных помех // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 1(165). С. 11–17.
11. Электрика и радиодетали. URL: <https://electroinfo.net/> (дата обращения: 1.03.2023).
12. Харни О., Казакевич А. Беспроводные устройства ближнего радиуса действия: нелицензируемый диапазон ниже 1 ГГц // Беспроводные технологии. 2007. № 1. С. 50–53.
13. Родос Л. Я. Электродинамика и распространение радиоволн. СПб. : Наука, 2006. 55 с.
14. Нелинейные аналоговые схемы. Генераторы гармонических и импульсных сигналов. URL: <http://sheme.edu.knu.kg/contents/ch7b.htm/> (дата обращения: 21.03.2023).
15. Данилин А. А. Измерения в радиоэлектронике. М. : Лань, 2022. 408 с.



JUSTIFICATION OF DESIGN OF IMPULSES TRANSMITTER AND RECEIVER OF LONGITUDINAL BREAKAGE DETECTION DEVICE OF A CONVEYOR BELT

Alexander V. Grigoryev, Alexander Y. Zakharov, Alla G. Zakharova,
Nadezhda M. Shauleva, Andrey A. Shaulev

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University



Article info

Received:
25 February 2024

Revised:
30 May 2024

Accepted:
10 June 2024

Keywords: belt conveyors;
conveyor belts; longitudinal
breakage; longitudinal breakage
detection device; reed switch;
impulse transmitter; impulse
receiver.

Abstract.

In conditions of modern mines belt conveyors are widely used, the peculiarity of operation of which is a significant increase in cargo flows and replacement of vertical hoisting installations on inclined shafts, and the width of the conveyor belt can reach 2000 mm. Longitudinal breakage of such a belt causes significant economic costs associated with the repair or replacement of the conveyor belt and downtime of the main mine equipment. The most promising direction of solving the problem of longitudinal break detection can be considered as energy transfer in the form of electromagnetic fields along the cross-section of the conveyor belt. However, due to the large number of interferences in the built-in loop in the conveyor belt in the conditions of the mine, there may be difficulties in reading the information receiver. In addition, in such devices it is necessary to shield the transmitter from the receiver.

In order to increase the reliability of longitudinal break detection devices of conveyor belts (LBDD) at the departments of mining machines and complexes and electric drive and automation of the Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (KuzSTU) developed a device in which the transmitter and power source are located in the conveyor belt. Several variants of structural schemes of the LBDD with minimal influence of electromagnetic interference are proposed and requirements to the transmitter and receiver are defined.

The criteria to be satisfied by the transmitter design of the longitudinal tape tear detection device with minimal influence of electromagnetic interference are formulated. The choice of transmitter and receiver parameters is substantiated, calculations of transmission losses, minimum possible transmitter power and minimum possible receiver sensitivity are made, the type of transmitter and receiver antennas is chosen, the transmitter circuit based on the Kolpitz oscillator is selected and calculated.

For citation Grigoryev A.V., Zakharov A.Y., Zakharova A.G., Shauleva N.M., Shaulev A.A. (2024) Justification of design of impulses transmitter and receiver of longitudinal breakage detection device of a conveyor belt, *Journal of mining and geotechnical engineering*, 2(25):4. DOI: 10.26730/2618-7434-2024-2-4-23, EDN: BYIJDN

References

1. Zakharov A., Gerike B., Grigoryev A., Zakharova A. Analysis of Devices to Detect Longitudinal Tear on Conveyor Belts. *E3S Web of Conferences*. 2020; 174:03006. DOI: 10.1051/e3sconf/202017403006
2. MESKOTEX KG longitudinal tape tear monitoring device. URL: <http://www.tecnosnab.com/documents/gurtlangsrisserruss.pdf> (accessed 19.12.2023). (In Russ.).
3. Beltscan systems. Rip detections and condition monitoring. URL: <https://www.beltscan.com/products/belt-guard-10k-rip-detector-for-steel-cord-belts.html> (accessed: 25.02.2023).
4. Zakharova A.G., Zakharov A.Yu., Lobur I.A., Shauleva N.M. Device for detection of longitudinal breakage of conveyor belt using ultrasonic sensors. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining equipment and electromechanics*. 2022; 4(162):62–70. (In Russ.).
5. Zhang M., Zhang Y, Zhou M. [et al.] Application of Lightweight Convolutional Neural Network for Damage Detection of Conveyor Belt. *Applied Sciences*. 2021; 11(16):7282.



6. Hou C., Qiao T., Zhang H., Pang Y., and Xiong X. Multispectral visual detection method for conveyor belt longitudinal tear. *Measurement*. 2019; 143:246–257.
7. Blazej R., Jurdziak L., Kirjanow A. et al. Evaluation of the quality of steel cord belt splices based on belt examination using magnetic techniques. *Diagnostyka*. 2015; 16(3):59–64.
8. Becker. Mining systems. Belt management. URL: <https://www.becker-mining.com/en/products/%20mincos/belt-management> (accessed: 25.01.2023).
9. Rubex Group. Conveyor belts with breakage control. URL: <https://rubexgroup.ru/lenta-s-kontrolem-poryvva/> (accessed: 21.03.2023). (In Russ.).
10. Zakharov A.Yu., Grigor'ev A.V., Zakharova A.G. et al. Formation of the structural scheme of the device for detection of the longitudinal break of the conveyor belt with the minimum influence of electromagnetic interference. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining equipment and electromechanics*. 2023; 1(165):11–17.
11. Electrics and radio parts. URL: <https://electroinfo.net/> (accessed: 01.03.2023). (In Russ.).
12. Kharni O., Kazakevich A. Near-range wireless devices: unlicensed range below 1 GHz. *Besprovodnye tekhnologii = Wireless technologies*. 2007; 1:50–53. (In Russ.).
13. Rodos L.Ya. Electrodynamics and radio wave propagation. Saint-Petersburgh: Nauka Publishing House; 2006. 55 p. (In Russ.).
14. Nonlinear analog circuits. Generators of harmonic and pulse signals. URL: <http://sheme.edu.knu.kg/contents/ch7b.htm/> (accessed: 21.03.2023). (In Russ.).
15. Danilin A.A. Measurements in radio electronics. Moscow: Lan' Publishing House; 2022. 408 p. (In Russ.).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2024 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Information about the authors

Alexander V. Grigor'ev – C. Sc. in Engineering, Associate Professor
e-mail: gav.eav@kuzstu.ru

Alexander Y. Zakharov – Dr. Sc. in Engineering, Professor
e-mail: zaharovau@kuzstu.ru

Alla G. Zakharova – Dr. Sc. in Engineering, Professor
e-mail: zaharovaag@kuzstu.ru

Nadezhda M. Shauleva – C. Sc. in Engineering, Associate Professor
e-mail: shnm.eav@kuzstu.ru

Andrey A. Shaulev – Postgraduate
e-mail: shaulevaa@kuzstu.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 Vesennaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

