

На правах рукописи



Журавлев Олег Евгеньевич

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЕЗДНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Специальность:

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)» на кафедре «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь».

Научный руководитель: Волков Анатолий Алексеевич д. т. н., профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» МГУПС (МИИТ).

Официальные оппоненты: Зыков Владимир Иванович д. т. н., профессор, заведующий кафедрой СЭАСС Академии ГПС МЧС России.

Самойлов Сергей Александрович к. т. н., доцент ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Ведущая организация: ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (НИИАС)

Защита состоится «30» сентября 2014 г. в 16 ч. в ауд. 301-3 на заседании диссертационного совета Д212.025.04 при Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ВлГУ, ФРЭМТ.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке университета.

Автореферат разослан «03» июля 2014 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, ФРЭМТ.

Учёный секретарь диссертационного
совета, д. т. н., профессор



А.Г. Самойлов

Общая характеристика работы

Актуальность работы. На железнодорожном транспорте высок уровень помех, во всех радиостанциях (ЖР) до сих пор используется узкополосная аналоговая частотная модуляция (ЧМ) при дефиците частотного ресурса. Поэтому помехоустойчивость поездной радиосвязи (ПРС) не всегда удовлетворительная, что отрицательно сказывается на безопасности движения поездов.

Данная диссертация посвящена повышению помехоустойчивости и частотной эффективности ПРС согласно известным критериям α - и β -эффективности, вытекающих из формулы Шеннона. Повышение помехоустойчивости ПРС осуществляется за счёт:

- 1) глубокого амплитудного ограничения (клиппирования) речевого сигнала (РС) на передающей стороне с восстановлением его огибающей на приёмной стороне;
- 2) повышения эффективности антенно-фидерных устройств (АФУ).

Пока цифровая передача используется только в волоконно-оптическом канале поездного диспетчера (ДНЦ). Для повышения её эффективности автором разработаны новые аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) с меньшим уровнем шумов квантования.

В широко используемой за рубежом цифровой железнодорожной системе радиосвязи GSM-R в передатчике ЧМ вторая ступень модуляции преобразована в однополосную фазовую манипуляцию (ОБП-ФМн) на 180° . Тем самым увеличена помехоустойчивость и частотная эффективность системы GSM-R в 2 раза. Предложен также способ детектирования сигнала ОБП-ФМн на 180° без обратной работы детектора. Для повышения частотной эффективности канала поездного диспетчера по волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) предложено использовать клиппированные речевые сигналы.

Указанные результаты, полученные в данной работе, существенно увеличивают помехоустойчивость и частотную эффективность ПРС, что

способствует повышению безопасности движения поездов. Этим и определяется актуальность темы диссертации.

Задача работы состоит в повышении помехоустойчивости и частотной эффективности ПРС, а также усовершенствовании АФУ ПРС.

Объект исследования – способы и устройства повышения помехоустойчивости и частотной эффективности ПРС.

Предмет исследования составляют научные основы и формализованные методы повышения эффективности ПРС.

Целью диссертационной работы является повышение помехоустойчивости и частотной эффективности ПРС. Для достижения поставленной цели сформулированы и решены конкретные задачи:

- 1) введено оптимальное клиппирование модулирующего РС с восстановлением его огибающей на приёмной стороне;
- 2) повышена эффективность АФУ ПРС;
- 3) разработаны эффективные АЦП и ЦАП;
- 4) разработана ОБП-ФМн на 180° для цифровой железнодорожной системы радиосвязи GSM-R вместо двухполосной частотной.

Методы исследований. В работе использованы методы теории информации и помехоустойчивости, математического анализа, теории электромагнитного поля, теории волновых процессов и теории вероятностей.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в разработке новых способов и устройств, повышающих помехоустойчивость ПРС. По итогам диссертационного исследования получены следующие основные результаты, содержащие элементы новизны и выносимые на защиту:

1. Разработана [1] корреляционная методика точного определения выигрыша γ в помехоустойчивости действующей ПРС за счёт клиппирования РС при допустимом уровне его нелинейных искажений и восстановлении огибающей клиппированного сигнала на приёмной стороне, составляющем по расчётам $\gamma \cong 4,33$ раза или $\gamma \cong 6,36$ дБ.

2. Получена новая формула коэффициента корреляции однополосного сигнала, который является входным для амплитудного ограничителя, и уточнена формула первого слагаемого функции корреляции на его выходе для п.1.
3. Разработан способ восстановления огибающей клипированного РС, что позволило повысить качество ПРС.
4. Показано, что однопроводная направляющая линия, используемая для увеличения дальности ПРС, представляет собой антенну Бевереджа, и поэтому надо учитывать снижение её к.п.д. за счёт излучения в режиме передачи и увеличение помех в режиме приёма.
5. Разработаны новые аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) с меньшими шумами квантования для передачи информации ДНЦ машинисту по ВОЛС диспетчерского канала ПРС [6, 7, 9].

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что разработанные способы и устройства способствуют повышению не только частотной эффективности, но и помехоустойчивости, что благоприятно сказывается на безопасности движения поездов:

- 1) уточнена корреляционная методика определения минимального значения пикфактора речи;
- 2) разработан способ восстановления огибающей у клипированного РС на приёмной стороне;
- 3) показано, что направляющая линия (НЛ) ПРС – это антенна Бевереджа, и необходимо учитывать снижение к.п.д. при работе в режиме передачи и снижение помехоустойчивости в режиме приёма;
- 4) предложено в качестве стационарной антенны ПРС использовать прожекторную осветительную мачту высотой 32 м в качестве четвертьволнового заземлённого вибратора с шунтовым питанием;
- 5) предложено использовать клипированные РС вместо цифровых в канале ДНЦ, позволяющих теоритически повысить частотную эффективность в 8 раз;

б) разработан способ преобразования сигнала двухполосной ЧМн в цифровой системе железнодорожной радиосвязи GSM-R (GSM-R) в сигнал однополосной ФМн на 180° , что повысит её помехоустойчивость и частотную эффективность в 2 раза.

Обоснованность и достоверность выносимых на защиту результатов работы обеспечена строгим соблюдением логики проведения научных исследований, обоснованностью исходных данных и методов решения поставленных задач, непосредственным сопоставлением полученных результатов с фактическими данными.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанный корреляционный анализ клиппированного однополосного сигнала.
2. Полученные формулы и произведенные расчёты нелинейных искажений, пикфактора, выигрыша в помехоустойчивости ПРС при амплитудном ограничении однополосного сигнала.
3. Предложенный способ восстановления огибающей клиппированного РС.
4. Полученную диграмму направленности напряжённости однопроводной направляющей линии, представленной как антенна Бевереджа, с определением потери мощности при излучении и дополнительных помех при приёме.
5. Разработанные АЦП и ЦАП для ПРС и временные диаграммы их работы [6, 7, 9].
6. Разработанную методику расчёта влияния опор контактной сети на ДН локомотивной антенны.

Внедрение результатов работы осуществлено в соответствующие проекты ООО НПП "АКСИОН-РТИ". Отдельные результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» МГУПС (МИИТ) в рамках дисциплин «Теория передачи сигналов», «Электромагнитные поля и волны». Все результаты внедрения подтверждены соответствующими актами.

Апробация работы выполнена на:

- 1) 9-й и 10-й Международных научно-технических конференциях «Перспективные технологии в средствах передачи информации» г. Владимир, в 2011 и 2013 гг.;
- 2) 65-й и 66-й научно-технических конференциях РЭС им. А.С. Попова, посвящённые дню Радио, в г. Санкт-Петербург, ЛЭГИ в 2010 и 2011 гг.;
- 3) 12-й и 13-й научно-практических конференциях «Безопасность движения поездов», в г. Москва, в МИИТе в 2011 и 2012 гг.;
- 4) на заседаниях кафедр «Радиотехника и электросвязь» и «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» МГУПС (МИИТа) в 2010-2013 гг.

Участие в Госбюджетных НИР. Результаты диссертации использованы в НИР «Перспективные технологии в средствах передачи информации железнодорожного транспорта» МГУПС (МИИТ), 2012 г.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в девятнадцати опубликованных работах, перечень которых представлен в конце автореферата. Пять работ опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК России, четыре – патенты РФ на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из пяти глав, введения, заключения, списка литературы и двух приложений.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы, определяются цели и задачи исследования, её предмет, методическая и информационная база, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе определяются критерии эффективности ПРС, даётся аналитический обзор литературных источников по теме диссертации, выявивший недостатки различных составляющих ПРС и позволивший сформулировать задачи исследования, направленные на повышение

помехоустойчивости и качества ПРС, способствующие повышению безопасности движения поездов.

Вторая глава посвящена повышению помехоустойчивости ПРС в $\gamma = \frac{10}{K_{\text{ПКЛ}}^2}$ раз путём клиппирования передаваемого РС, уменьшающего его пикфактор $K_{\text{п}}$ с восстановлением его огибающей на приёмной стороне. Во избежание недопустимо больших нелинейных искажений предложено клиппировать не РС (широкополосный), а однополосный (узкополосный), сформированный по РС с последующим переносом его в тональный диапазон частот путём когерентного детектирования и подключения к низкочастотному входу передатчика ЖР. Схема передатчика с указанными блоками представлена на рисунке 1, где обозначено: *ИРС* – источник РС, *ФОС* – формирователь однополосного сигнала, *Г* – генератор вспомогательной несущей, *ОА* – ограничитель амплитуды, *КД* – когерентный детектор, *ПРД* – передатчик.

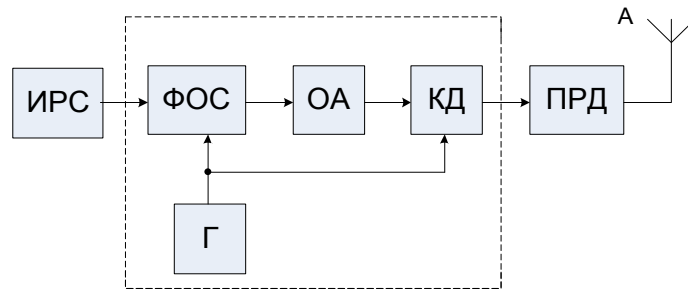


Рисунок 1 – Схема передатчика с клиппирующим устройством

Характеристика ограничителя *ОА* представлена на рисунке 2, функция корреляции на его выходе определяется известным выражением *):

$$B_{\text{вых}}(\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n^2 \frac{R_0^n(\tau)}{n!}, \quad (1)$$

где $R_0(\tau)$ – коэффициент корреляции входного однополосного сигнала;

C_n – коэффициенты, определяемые амплитудной характеристикой ограничителя (рисунок 2), полиномом Эрмита $H_n(x)$ и среднеквадратичным значением σ входного случайного РС.

*) Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники – М.: Радио и связь, 1989.-656 с.

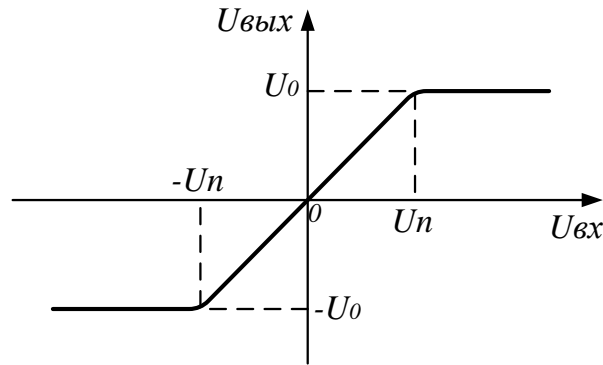


Рисунок 2 – Характеристика амплитудного ограничителя

В работе [1] получена формула коэффициента корреляции РС:

$$R_0(\tau) = e^{-\rho|\tau|} \cos(\omega_0 + \Omega_0)\tau,$$

где $\rho = 10^3$ Гц, а $\Omega_0 = 2\pi F_0 = 2\pi \cdot 400$ рад/с, ω_0 – вспомогательная несущая частота.

Так как $C_n = 0$ при чётных n , и члены ряда (1) быстро убывают, то можно ограничиться двумя членами ряда:

$$B_{\text{вых}}(\tau) = A_1 R_0(\tau) + A_3 R_0^3(\tau),$$

где A – коэффициенты, а $A_0 = C_0 = 0$. Подставляя значения A , имеем уточнённую формулу:

$$B_{\text{вых}}(\tau) = U_0^2 \left\{ \left[\frac{2\Phi(\beta) - 1}{\beta} \right]^2 * R_0(\tau) + \frac{1}{3\pi} e^{-\beta^2} \cdot R_0^3(\tau) \right\},$$

где $\Phi(\beta) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta e^{-t^2/2} dt$ – интеграл вероятностей, $\beta = \frac{U_n}{\sigma}$ –

относительный порог ограничения, а коэффициент A_1 отличается от известного **) наличием цифр 2 и -1 в квадратной скобке.

Далее по $B_{\text{вых}}(\tau)$ определяется спектральная плотность мощности (СПМ) $G(\omega)$, используя теорему Винера – Хинчина. Так как $B_{\text{вых}}(\tau)$ имеет два слагаемых, то и $G(\omega)$ будет иметь столько же слагаемых: первое – это

**) Верзунов М.В. Однополосная модуляция в радиосвязи – М.: Воениздат, 1972.

спектральная плотность мощности (СПМ) полезного сигнала $G_1(\omega)$, а второе – СПМ нелинейных искажений $G'_1(\omega)$. По этим СПМ определяются в полосе частот однополосного сигнала средние мощности P_1 и P'_1 соответственно. Далее по ним находится коэффициент нелинейных искажений

$$k_f = \sqrt{\frac{P'_1}{P_1}} = 0,25 \frac{\beta e^{-0,5\beta^2}}{2\Phi(\beta) - 1},$$

пикфактор клипированного сигнала:

$$k_{\Pi} = \frac{U_0}{\sigma_{огр}} = \frac{U_0}{\sqrt{p_1 + p'_1}} = \frac{1}{\sqrt{2,08 \left[\frac{2\Phi(\beta) - 1}{\beta} \right]^2 + 0,13e^{-\beta^2}}},$$

выигрыш в помехоустойчивости:

$$\gamma = \frac{10}{k_{\Pi}^2}.$$

Результаты расчёта по полученным формулам представлены в таблице 1 и на рисунке 3, из которых следует, что пикфактору $k_{\Pi} = 1,52 = \min$ соответствует коэффициенту нелинейных искажений $k_f = 7,4\%$, что вполне допустимо, а выигрыш в помехоустойчивости – $\gamma = 4,33$ раза или 6,36 дБ.

Результаты расчёта

Таблица 1

β	$e^{-0,5\beta^2}$	$\Phi(\beta)$	$k_f, \%$	k_{Π}	γ , раз
1	0,607	0,6827	41	1,74	3,3
2	0,1353	0,9545	7,4	1,52	4,33
3	0,0111	0,9973	0,8	2,1	2,27

Клипированные сигналы несут только фазу РС, по которой надо восстановить на приёмной стороне его огибающую $U(t)$ и по ним синтезировать неискажённый переданный РС $u(t)$.

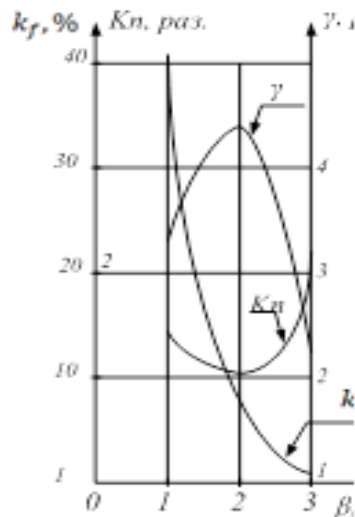


Рисунок 3 – Графики результатов расчёта

Предложено восстанавливать огибающую u клипированного РС способом детектирования сигналов с дельта-модуляцией, реализованным с помощью интегратора I с ФНЧ на его выходе и дополнительными элементами, показанными на рисунке 4. Дискретизатор $ДСК$ преобразует разнополярный клипированный сигнал в сигнал с дельта-модуляцией, который в интеграторе I преобразуется в исходный РС с огибающей ступенчатой формы. Последняя преобразуется в плавную кривую на выходе $ФНЧ$, амплитуда которой обратно пропорциональна частоте РС. Дифференциатор $ДФ$ устраняет эту зависимость и фазовый сдвиг на 90^0 за счёт интегрирования.

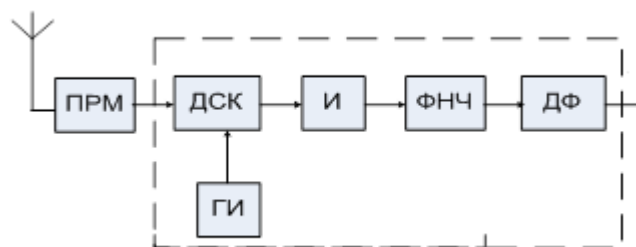


Рисунок 4 – Приёмник клипированных сигналов с восстановлением их огибающей

Третья глава посвящена исследованию эффективности антенно-фидерных устройств ПРС.

Для увеличения дальности ПРС используют однопроводную направляющую линию (НЛ), индуктивно связанную с горизонтальным проводом П-образной локомотивной антенны. НЛ – это тоже горизонтальный провод параллельный рельсам, подвешенный на высоте 2-2,5 метра, имеющий длину l много большую длины волны $\lambda = 141$ м ПРС (рисунок 5).

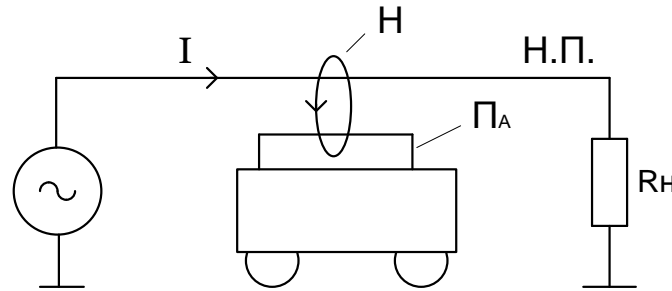


Рисунок 5 – Направляющая линия с П-образной локомотивной антенной

Один конец НЛ подключен к ЖР, а к другому её концу подключено активное сопротивление нагрузки, равное волновому сопротивлению провода. Расстояние r НЛ от локомотивной антенны не более 10 м, т.е. $r \ll \lambda$, а это – зона индукции антенны. Так как длина $l > \lambda$, то НЛ – длинная линия, по которой распространяется электромагнитная энергия и связанные с ней электромагнитные волны. С другой стороны, НЛ – это антенна Бевереджа, имеющая точно такую же конструкцию, хотя её длина $l \approx \lambda$. Раз это антенна, то в режиме приёма она принимает дополнительные радиопомехи, а в режиме передачи излучает электромагнитную энергию, уменьшая к.п.д. НЛ, который и без этого низкий. Эти дополнительные потери НЛ ранее не рассматривались. Учесть их можно, используя диаграмму направленности антенны Бевереджа, которая в горизонтальной плоскости равна ***):

$$f(\varphi) = \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi - \xi} \sin\left[\frac{ml}{2}(\cos \varphi - \xi)\right],$$

где $\xi = \frac{c}{V}$ – коэффициент замедления скорости V волны в линии по

отношению к скорости света C . При $\xi = 1$ нормированная ДН:

***)) Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства – М.: Связь, 1972. – 462

$$F(\varphi) = \frac{f(\varphi)}{f(\varphi)_{max}} = \frac{2}{ml} * \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi - 1} \sin\left[\frac{ml}{2}(\cos \varphi - 1)\right]. \quad (2)$$

Рассчитанные по (2) ДН представлены на рис. 6 в полярной системе координат для длины НЛ l_1 равной длине волны ($l_1 = \lambda = 141\text{м}$) и длины НЛ $l_2 = 10\text{ км}$ соответственно:

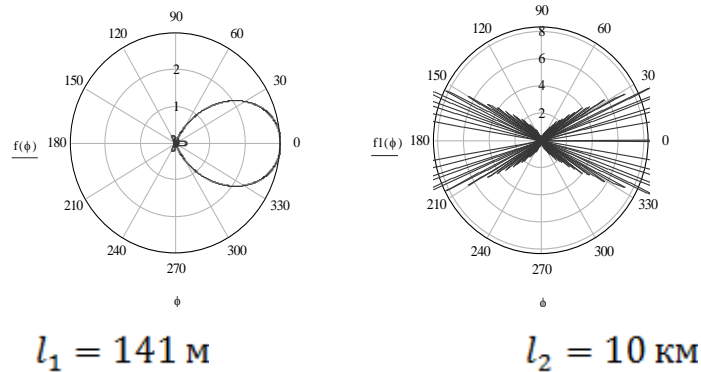


Рисунок 6 – Диаграммы направленности направляющей линии

Как следует из этого рисунка, ДН хотя и разные, но в обоих случаях имеет место и приём, и излучение радиоволн. Это значит, что НЛ принимает внешние помехи, ухудшая качество ПРС, и понижает к.п.д. в режиме передачи из-за излучения (согласно ДН) и потерь в сопротивлении нагрузки, равным волновому сопротивлению НЛ. Эти антенные показатели в НЛ ранее нигде не рассматривались.

В третьей главе также определено влияние опор контактной сети на ДН локомотивной антенны при движении поезда, так как расстояние между ними незначительное ($\approx 3,1\text{ м}$). Такие задачи решаются методом наведённых ЭДС, если пассивный и активный вибратор являются полуволновыми. В данном случае опора имеет высоту пять метров, а локомотивная антенна – один метр. В диссертации использован малоизвестный метод ****), когда пассивный вибратор имеет бесконечную длину, а активный – конечную, и расположены они согласно рисунку 7. В этом случае электромагнитное поле антенны (рисунок 7) определяется в результате комбинации интеграла и ряда Фурье.

****) Уэйт Дж.Р. Электромагнитное излучение из цилиндрических систем/ Пер. с англ. под ред. Г.В. Кисунько; – М.: Советское радио, 1963.- 240 с.

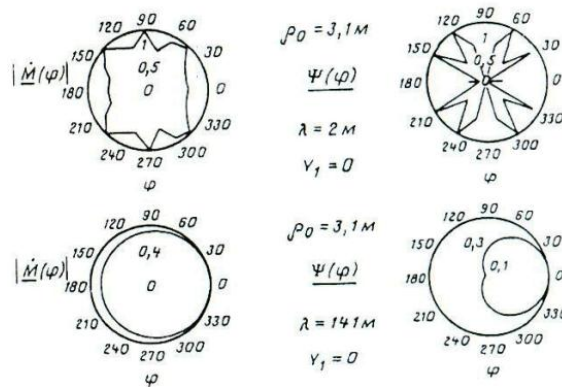


Рисунок 8 – Диаграмма направленности локомотивной антенны с учётом опоры контактной сети

затратами. Поэтому для увеличения дальности ПРС предложено в качестве стационарных антенн ПРС использовать имеющиеся стационарные заземлённые металлические прожекторные мачты наружного освещения высотой $H = 24 - 32$ м как вертикальный заземлённый четвертьволновый вибратор с шунтовым питанием.

В третьей главе также предложен точный измеритель напряжённости электромагнитного поля гектометрового диапазона волн в зоне индукции антенны, новизна которого подтверждена патентом РФ на изобретение [8].

Четвёртая глава посвящена повышению помехоустойчивости и частотной эффективности цифровых систем железнодорожной радиосвязи. Разработаны аналого-цифровой преобразователь и цифро-аналоговый преобразователь с пониженным уровнем шумов квантования для канала поездного диспетчера. В отличие от ИКМ-30 уровень шумов квантования понижен за счёт непрерывного компандирования.

На рисунке 9 представлена разработанная автором структурная схема связи, где обозначено: *ИС* – источник сообщения; *ДЧ* – делитель частоты в 2 раза; *АИМ-1* – дискретизатор по времени; *Г* – генератор импульсов; *ДВ* – двухполупериодный выпрямитель; *К* – компрессор; *АИМ-2* – амплитудно-импульсный преобразователь сигнала *АИМ-1* в сигнал *АИМ-2*; *БЗ* – блок временной задержки импульсов; *Код* – кодер; *ПК-1* – преобразователь

параллельного кода в последовательный; $U_{пер}$ – усилитель передатчика; $ЛС$ – линия связи; $U_{пр}$ – усилитель приёмника; P – регенератор импульсов; $ПК2$ – преобразователь последовательного кода в параллельный; $Дек$ – декодер; $Э$ – экспандер; Π – перемножитель сигналов; $\PhiНЧ$ – фильтр нижних частот; $УЧ$ – удвоитель частоты РС; $ПС$ – получатель сообщения.

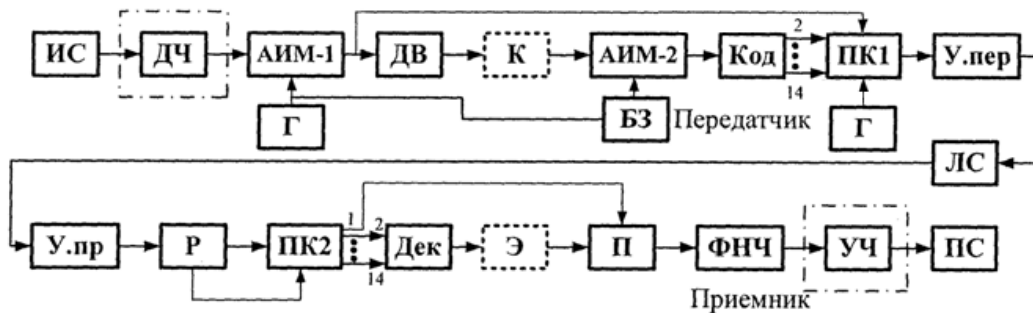


Рисунок 9 – Структурная схема цифровой связи

В системе связи (рисунок 9) цифровой сигнал передаётся знаком отсчёта в первом разряде кодового слова, а модуль из блока $ДВ$ – в остальных семи разрядах.

В передатчике цифровой железнодорожной системы радиосвязи GSM-R преобразован частотный модулятор в формирователь однополосного цифрового сигнала с фазовой манипуляцией на 180^0 фазовым способом путём изменения только связей его элементов. Преобразованная схема цифрового частотного модулятора показана на рисунке 10, где обозначено: $ИЦС$ – источник цифрового сигнала; $ГФ$ – фильтр Гаусса; $И$ – интегратор; $Д$ – дифференциатор; $БЗ$ – блок задержки по времени; $\PhiИ$ – фазоинвертор; Σ – сумматор; Π – перемножитель сигналов; $Г$ – генератор колебания несущей частоты; $\PhiВ$ – фазовращатель на 90^0 . Блоки, объединённые пунктирной линией, образуют широкополосный фазовращатель ($ШФВ$) на 90^0 , а вся схема – формирователь однополосного сигнала фазовым способом. При перемножении в блоках Π цифрового знакопеременного сигнала с гармоническим колебанием несущей частоты образуется двухполосный сигнал с ФМн на 180^0 , а на выходе $\Sigma2$ – однополосный сигнал с ФМн на 180^0 . Схема на рисунке 10 позволяет

угол $\varphi = 90^\circ$ с погрешностью $\Delta\varphi \leq 0,2^\circ$ имеет место в диапазоне частот от 0 до 100 кГц, чему соответствует степень подавления нерабочей боковой полосы $a = -20 \lg 0,5 \Delta\varphi = -60$ дБ. Известные фазовращатели обеспечивают $\varphi = 90^\circ$ в диапазоне частот 300-3400 Гц с погрешностью $\Delta\varphi > 1^\circ$. Это соответствует $|a| < 40$ дБ, что неприемлемо. Неравномерность суммарной АЧХ U_Σ устраняется путём амплитудного ограничителя сигнала U_Σ в блоке ОА. Предложен также новый способ формирования опорного колебания из входного ОБП-ФМн сигнала для его когерентного детектирования [3].

Для существенного увеличения частотной эффективности ВОЛС канала ДНЦ в работе предложено использовать клиппированные аналоговые РС, исследованные во второй главе. От этого выигрыш составляет 8 раз, т.к. полосы частот цифрового $\Delta f_{\text{ц}}$ и аналогового $\Delta f_{\text{а}}$ РС связаны соотношением $\Delta f_{\text{а}} = \frac{\Delta f_{\text{ц}}}{n}$, где $n = 8$ – разрядность кодового слова цифрового сигнала ЦС. При этом упрощается и удешевляется аппаратура, а качество связи не ухудшается.

Пятая глава посвящена снижению потребления электроэнергии радиостанции ПРС. Для этого предложено повышать к.п.д. передатчика гектометровых волн ПРС с помощью третьей гармоники. Так как при угле отсечки $\theta = 90^\circ$ третья гармоника отсутствует в импульсе коллекторного тока, то предложено получить её с помощью дополнительного утроителя частоты, подключённого параллельно предоконечному усилительному каскаду передатчика для снижения потребления им мощности. При этом утроитель потребляет мощность в 10 раз меньшую, чем если бы он был подключён к окончному каскаду. Если утроитель частоты выполнить на варакторе, то он практически не будет потреблять мощности от источника питания, что дополнительно повысит к.п.д. передатчика. В результате исследования получено оптимальное значение отношения третьей гармоники коллекторного напряжения к первой, равное 0,25, при котором к.п.д. окончного каскада передатчика максимален и равен 89%. Это приблизительно на 20% больше, чем в используемом критическом режиме без третьей гармоники.

Основные выводы и результаты

1. Разработана [1] корреляционная методика точного определения выигрыша γ в помехоустойчивости действующей ПРС за счёт клиппирования РС при допустимом уровне его нелинейных искажений и восстановлении огибающей u клиппированного сигнала на приёмной стороне [4]. Этот выигрыш равен $\gamma = 4,33$ раза или 6,36 дБ.
2. Получена новая формула коэффициента корреляции однополосного сигнала, который является входным для амплитудного ограничителя, и уточнена формула первого слагаемого функции корреляции на его выходе для п.1.
3. Разработан способ восстановления огибающей u клиппированного РС, что повысило качество ПРС.
4. Показано, что однопроводная направляющая линия, используемая для увеличения дальности ПРС, представляет собой антенну Бевереджа, и поэтому надо учитывать дополнительные потери энергии за счёт излучения в режиме передачи и увеличения помех в режиме приёма.
5. Предложено для увеличения дальности ПРС в качестве стационарной антенны ПРС использовать стационарную прожекторную мачту как заземлённый четвертьволновый вибратор с шунтовым питанием. Её высота 32 м превышает больше чем в 2 раза высоту стандартной стационарной антенны, что увеличивает её к.п.д. на 25 % и входное сопротивление на 12 Ом.
6. Теоретически определено влияние опор контактной сети на диаграмму направленности локомотивной антенны. Показано, что это влияние больше в метровом диапазоне волн, чем в гектометровом, причём, больше влияет на фазовую ДН, чем на амплитудную ДН.
7. Разработан измеритель напряжённости электромагнитного поля гектометровых волн ПРС в зоне индукции, погрешность измерения

которого уменьшилась в 4 раза и составляет 10%. Новизна разработки подтверждена патентом РФ на изобретение [8].

8. Разработаны АЦП и ЦАП с уменьшенными шумами квантования для передачи цифровых сигналов по каналу ВОЛС поездного диспетчера. Новизна разработок подтверждена тремя патентами РФ на изобретение [6, 7, 9].
9. В передатчике цифровой железнодорожной системы радиосвязи GSM-R преобразована вторая ступень модуляции из частотной в однополосную фазовую манипуляцию (ОБП-ФМн) на 180^0 путём изменения связей её элементов. Это позволило увеличить помехоустойчивость и частотную эффективность в 2 раза.
10. Показано, что увеличить частотную эффективность канала ДНЦ можно в 8 раз, используя клиппированные речевые сигналы.
11. Для повышения энергоэффективности ПРС путём увеличения к.п.д. передатчика на 20 %, выходной каскад которого работает в критическом режиме при угле отсечки $\theta = 90^0$, предложено использовать дополнительный утроитель частоты, подключенный параллельно к предоконечному каскаду передатчика.

Список публикаций

Печатные работы в изданиях, рекомендованных ВАК России

1. Волков А.А., Карпова Г.В., Журавлев О.Е. Повышение помехоустойчивости радиосвязи [Текст]/ А.А. Волков, Г.В. Карпова, О.Е. Журавлев// Мир транспорта. – 2012. - №3. – с.31-33.
2. Волков А.А., Карпова Г.В., Кузюков В.А., Журавлев О.Е. Оптимальное клиппирование речевого сигнала для максимизации помехоустойчивости железнодорожной радиосвязи [Текст]/ А.А. Волков, Г.В. Карпова, В.А. Кузюков, О.Е. Журавлев// Проектирование и технология электронных средств. -2011. - № 4 - с.26-30.

3. Волков А.А., Журавлев О.Е., Кузюков В.А. Повышение эффективности цифровой железнодорожной системы радиосвязи GSM-R [Текст]/ А.А. Волков, О.Е. Журавлев, В.А. Кузюков // Успехи современной радиоэлектроники; – М.: Радиотехника.- 2013.- № 9 – с.32-36.
4. Волков А.А., Кузюков В.А., Журавлев О.Е. Способ восстановления огибающей у клиппированного речевого сигнала [Текст]/ А.А. Волков, В.А. Кузюков, О.Е. Журавлев// Проектирование и технология электронных средств. – 2013. -№ 4. -51-52 с.
5. Журавлева Л.М., Новожилов А.В., Кручинин А.С., Журавлев О.Е. Потенциальные возможности повышения пропускной способности оптического канала связи [Текст]/ Л.М. Журавлева, А.В. Новожилов, А.С. Кручинин, О.Е. Журавлев// Успехи современной радиоэлектроники. – М.: «Радиотехника», 2013. - №9. - с.11-16.

Патенты на полезную модель

6. Патент РФ на полезную модель № 92586 Многоканальный аналого-цифровой преобразователь сигналов [Текст]/ А.А. Волков, Г.В. Долганова, О.Е. Журавлев; - Оpubл. 20.03.2010. – Бюл., 2010. -№8.
7. Патент РФ на полезную модель № 102443 Многоканальный цифро-аналоговый преобразователь сигналов [Текст]/ А.А. Волков, Г.В. Долганова, О.Е. Журавлев; - Оpubл. 27.02.2011. – Бюл., 2011. -№6.
8. Патент РФ на полезную модель №110194 Измеритель уровня напряжённости электромагнитного поля в зоне индукции [Текст]/ А.А. Волков, А.А. Шаров, О.Е. Журавлев;- Оpubл. 10.11.2011. - Бюл., 2011. - № 31.
9. Патент РФ полезную модель №114247 Аналого – цифровой преобразователь речевого сигнала [Текст] / А.А. Волков, О.Е. Журавлев, В.А. Кузюков; - Оpubл. 10.03.2012. - Бюл., 2012.- №7.

Печатные работы в других изданиях

10. Волков А.А., Долганова Г.В., Журавлев О.Е. Аналого-цифровой преобразователь на базе широтно-импульсной модуляции [Текст]/ А.А. Волков, Г.В. Долганова, О.Е. Журавлев// Труды 65-й научно-технической конференции посвященной Дню радио – СПб.: СПб НТО РЭС им. Попова, 2010.-т.1.
11. Волков А.А., Карпова Г.В., Журавлев О.Е. Модернизированные АЦП и ЦАП [Текст]/ А.А. Волков, Г.В. Карпова, О.Е. Журавлев// Труды 66-й научно-технической конференции посвященной Дню радио – СПб.: СПб НТО РЭС им. Попова, 2011.-т.2.
12. Волков А.А., Карпова Г.В., Журавлев О.Е. Повышение энергоэффективности поездной радиосвязи [Текст]/ А.А. Волков, Г.В. Карпова, О.Е. Журавлев О.Е. // Труды одиннадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» - М.: МИИТ, 2010. - С. VIII-8.
13. Волков А.А., Журавлев О.Е. Влияние опор контактной сети на диаграмму направленности локомотивной антенны [Текст]/ А.А. Волков, О.Е. Журавлев// Материалы 9-й Международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации» – г. Владимир.: ВлГУ, 2011. -т.2.- с. 122-125.
14. Волков А.А., Журавлев О.Е., Кузюков В.А. Эффективная цифровая железнодорожная система радиосвязи GSM-R [Текст]/ А.А. Волков, О.Е. Журавлев, В.А. Кузюков // Материалы 10-й Международной научно-технической конференции «Перспективные технологии в средствах передачи информации» – г. Владимир.: ВлГУ, 2013. – т.1.-с. 51-55.
15. Волков А.А., Журавлев О.Е. Повышение электромагнитной совместимости [Текст]/ А.А. Волков, О.Е. Журавлев // Труды двенадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» - М.: МИИТ, 2011. - С.VIII-1.

16. Волков А.А., Журавлев О.Е., Кузюков В.А. Восстановление огибающей у клиппированного речевого сигнала [Текст]/ А.А. Волков, О.Е. Журавлев, В.А. Кузюков // Труды четырнадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» – М.: МИИТ, 2013. - С. XIV.
17. Журавлев О.Е., Кузюков В.А. Повышение помехоустойчивости железнодорожной радиосвязи при минимизации нелинейных искажений [Текст]/ О.Е. Журавлев, В.А. Кузюков// Труды тринадцатой научно-практической конференции «Безопасность движения поездов» - М.: МИИТ, 2012. -С. VII-2.
18. Журавлев О.Е., Матикова Е.В. Повышение к.п.д. передатчика ПРС [Текст]/ О.Е. Журавлев, Е.В. Матикова // Труды научно-практической конференции Неделя науки – 2011 «Наука МИИТа – Транспорту»; – М.:МИИТ, 2011.- С. II.- 70.
19. Журавлев О.Е., Головихина Т.А. Повышение электромагнитной совместимости поездной радиосвязи [Текст]/ О.Е. Журавлев, Т.А. Головихина// Труды научно-практической конференции Неделя науки – 2011 «Наука МИИТа – Транспорту»; – М.:МИИТ, 2011.- С. II.- 70.

Подписано в печать 30.06.2014

Формат 60 84/16. Усл. печ. л. 1,39. Тираж 100 экз.

Заказ 160

Издательство

Московского государственного университета путей сообщения.

127994, Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9