

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ
ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

Журнал практики

Студент _____ Тихонова Мария Алексеевна _____ (ф.и.о.)

Институт №4 Радиоэлектроника, инфокоммуникации и информационная
безопасность

Кафедра 402 «Радиосистемы и комплексы управления, передачи информации и
информационная безопасность»

Учебная группа М4О-503С-20

Направление подготовки (специальность) 11.05.01
(шифр)

Радиоэлектронные системы и комплексы

(название направления, специальности)

Вид практики научно-исследовательская
(учебной, производственной, преддипломной или другой вид практики)

Руководитель практики от МАИ

Подкорытов А.Н.

(фамилия, имя, отчество)

(подпись)

_____/ Тихонова М.А.. /
(подпись студента)

« _____ » _____ 20 _____ г
(дата)

1. Место и сроки проведения практики

Сроки проведения практики:

-дата начала практики 29.06.2025г

-дата окончания практики 26.07.2025г

Наименование предприятия Институт №4 Радиоэлектроника, инфокоммуникации и
информационная безопасность, МАИ

Название структурного подразделения (отдел, лаборатория) Кафедра 402 «Радиосистемы и
комплексы управления, передачи информации и информационная безопасность»

2. Инструктаж по технике безопасности

_____/ Подкорытов А.Н. / “____” _____ 2024 г.
(подпись проводившего) (дата проведения)

3. Индивидуальное задание студенту

Разработка PLC-модема: выбор вида модуляции для эффективной передачи сигнала.

4. План выполнения индивидуального задания

1. Анализ существующих зарубежных стандартов для узкополосных PLC и используемых в них видов модуляции;
2. Сборка макета узкополосного PLC-модема на основе структурной схемы СКБ-4 «Сигнал» МАИ;
3. Проведение ряда экспериментов по передаче сигнала с разным видом модуляции по сетям электропитания;
4. Анализ результатов эксперимента и формирование рекомендаций по улучшению работы PLC-модема.

Руководитель практики от МАИ: _____/ Подкорытов А.Н. /

_____/ Тихонова М.А. / “ ____ ” _____ 2025 г.
(подпись студента) (дата)

5. Отзыв руководителя практики

Студент заслуживает за практику оценки «_____».

Руководитель практики: _____ / _____ /
(фамилия, имя, отчество) (подпись)

«___» _____ 20__ г

6. Отчет студента о практике

1. Основные цели научно-исследовательской практики

Целью производственной (научно-исследовательской) практики было получение экспериментально-обоснованной рекомендации к применению наиболее эффективного вида модуляции в узкополосных PLC-системах, который позволит повысить помехоустойчивость и качество связи при передаче данных по сетям электропитания.

2. Основные задачи научно-исследовательской практики

- 1) Провести анализ зарубежных стандартов узкополосной PLC-связи и выявить используемые в них виды модуляции;
- 2) Собрать макет узкополосного PLC-модема на базе структурной схемы СКБ-4 «Сигнал» МАИ;
- 3) Выполнить серию экспериментальных исследований по передаче сигнала через силовые сети с применением различных видов модуляции, оценив влияние различных видов искажений;
- 4) Проанализировать полученные экспериментальные данные;
- 5) Разработать рекомендации по выбору оптимального вида модуляции для повышения эффективности передачи сигнала в PLC-системах.

3. Результаты изучения научно-исследовательской практики

3.1 Введение

В современных условиях производственные процессы активно автоматизируются с использованием большого количества станков и оборудования. Для обеспечения безопасности и поддержания высокого качества работы требуется постоянный контроль их состояния, то есть необходима передача телеметрической информации оператору производства.

Передача таких данных может осуществляться различными способами в зависимости от особенностей конкретного производства. Наиболее распространённые решения – это беспроводные локальные сети (WLAN), проводные локальные сети (Ethernet) и другие проводные стандарты связи.

Беспроводные сети представляют собой наиболее простое решение, поскольку не требуют прокладки новых коммуникаций на предприятии. Однако такой способ имеет серьёзный недостаток – безопасность. Существует риск хакерских атак или преднамеренных помех, создаваемых с целью вывести из строя систему. При этом если от хакерской атаки можно обезопасить систему с помощью надёжного шифрования доступа в сеть, то для организации диверсии достаточно разрушить связь по WLAN с помощью постановщика помех. Соответственно, надёжность беспроводной связи изначально невысока.

Проводные решения лишены указанного недостатка, так как представляют собой изолированную внутреннюю сеть предприятия без доступа к внешним ресурсам. Физическая защита линии также выше, так как подключение возможно только при непосредственном доступе к кабелям. Однако реализация такой системы сопряжена с трудностями: большое количество соединений требует продуманной организации и регулярного обслуживания. Особенно сложно внедрение проводной телеметрии на уже функционирующих или старых предприятиях, где требуется серьёзная модернизация инфраструктуры.

В связи с вышесказанным, применение технологии PLC (Power Line Communication) является хорошей альтернативой, так как предполагает передачу

телеметрической информации непосредственно по сетям электропитания одновременно с основной гармоникой сети. Такой подход может обеспечить высокий уровень безопасности и не требует дополнительной инфраструктуры, что делает его легко применимым в текущих условиях на предприятиях.

3.2 Теоретический обзор

Существует множество стандартов для узкополосных PLC, разработанных крупными зарубежными организациями – CENELEC, FCC, ARIB, Homeplug Power Alliance, которые необходимы для реализации технологической совместимости и надежной связи в сетях электропитания. Основные параметры некоторых из них приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры стандартов для узкополосной PLC-связи

Стандарт	Рабочая частота	Ширина полосы	Вид модуляции	Скорость передачи данных
G3-PLC	36 – 90,6 кГц	± 55 кГц	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	5,6 – 45 кбит/с
PRIME	30 – 90 кГц	± 60 кГц	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	21 – 128 кбит/с
IEEE P1901.2	10 – 490 кГц	до 100 кГц	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	до 500 кбит/с
IEC 61334	60 – 76 кГц	10 кГц и более	S-FSK (Spread – Frequency Shift Keying)	1,2 – 2,8 кбит/с

В ходе анализа наличия отечественных стандартов в области PLC-связи была выявлена единственная технология — PLC II, разработанная компанией ООО «Инкотекс-СК». Данная система обеспечивает передачу данных со скоростью до 1000 бит/с, реализуя связь посредством нескольких узкополосных каналов с временным разделением в пределах допустимого частотного диапазона 35 – 91 кГц. Повышенная помехоустойчивость технологии достигается за счёт снижения скорости передачи данных, что позволяет обеспечить более надёжную работу в условиях промышленных электросетей. Используемый вид модуляции в данной технологии найти в открытых источниках не удалось.

Для более корректной оценки эффективности видов модуляций, которые может реализовывать генератор в лаборатории, перед экспериментом был составлен список приоритетов. Оценка проводилась по следующим параметрам:

- Простота реализации – насколько легко реализовать модуляцию в аппаратуре, + ставился тем видам, которые реализуются с минимальными вычислениями или простыми компонентами и не требует, например, сложной фильтрации;
- Эффективность использования спектра – насколько "экономно" модуляция использует полосу частот по отношению к передаваемым битам, + стоит там, где передаётся много бит на малой полосе;
- Помехоустойчивость – насколько хорошо модуляция способна передавать данные при наличии шумов или искажений.

Результаты оценки приведены в таблице 2. Более приоритетными оказались модуляции вида – PSK, FSK, QPSK, OSK и SUM.

Таблица 2 – Оценочный обзор видов модуляции

Вид модуляции	Простота реализации	Эффективность использования спектра	Помехоустойчивость
AM	+	-	-
DSBAM	-	-	-
FM	-	-	+
PM	-	-	+
ASK	+	-	-
PSK	-	+	+
FSK	+	-	+
3FSK	-	-	+
QPSK	-	+	+
OSK	-	+	+
SUM	-	+	+

3.3 Экспериментальная часть

На базе СКБ-4 МАИ был разработан и собран прототип PLC-модема, основанный на приёме и передаче радиоимпульсов в сеть электропитания на несущей частоте 60,15 кГц с шириной полосы приблизительно 10 кГц (рис. 1). Структурная схема измерительной установки приведена на рисунке 2.

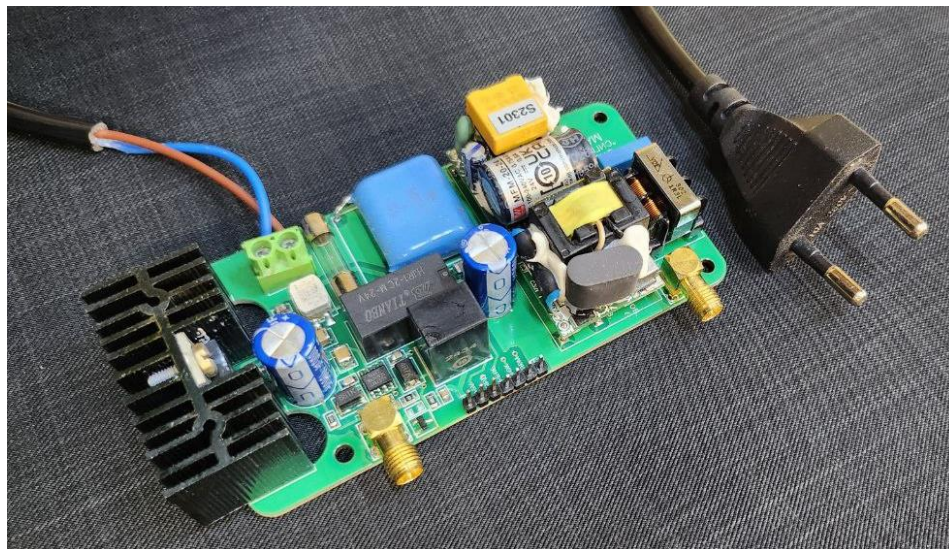


Рисунок 1 – Макет PLC-модема (СКБ-4 МАИ)

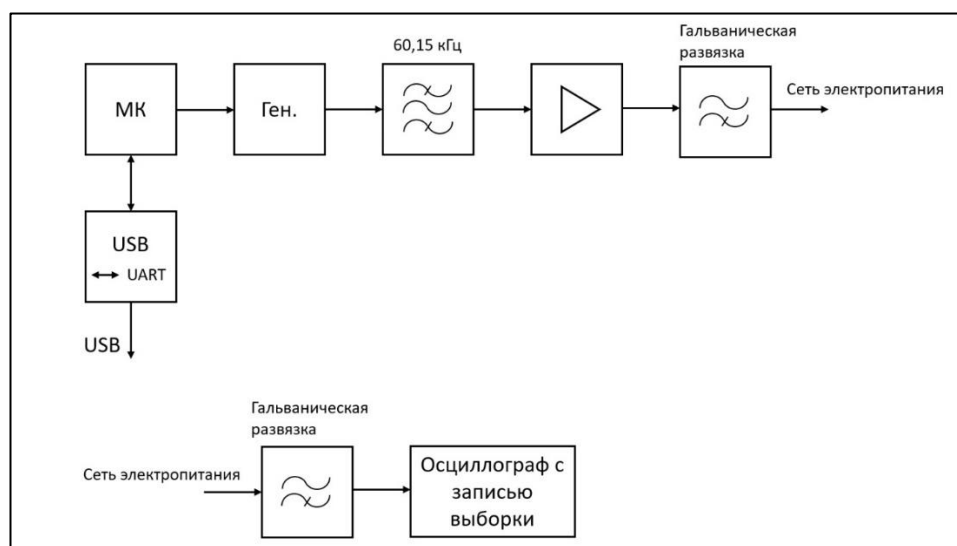


Рисунок 2 – Структурная схема измерительной установки

Был проведён эксперимент, в ходе которого данные были переданы в розетку через модем и принимались на расстоянии 50 метров через гальваническую развязку на осциллографе. Эксперимент проводился в условиях лаборатории, где в сеть подключены паяльные станции, нагреватели, измерительные приборы, зарядные устройства, то есть приборы, активно эксплуатируемые на производстве.

3.4 Результаты и анализ

Вначале эксперимента мы записали шумовую обстановку (рис. 3), которая изначально есть в сети. Для наглядности на графиках выведены сразу спектры генерируемого сигнала и полученного в приёмной части (рис. 4-7).

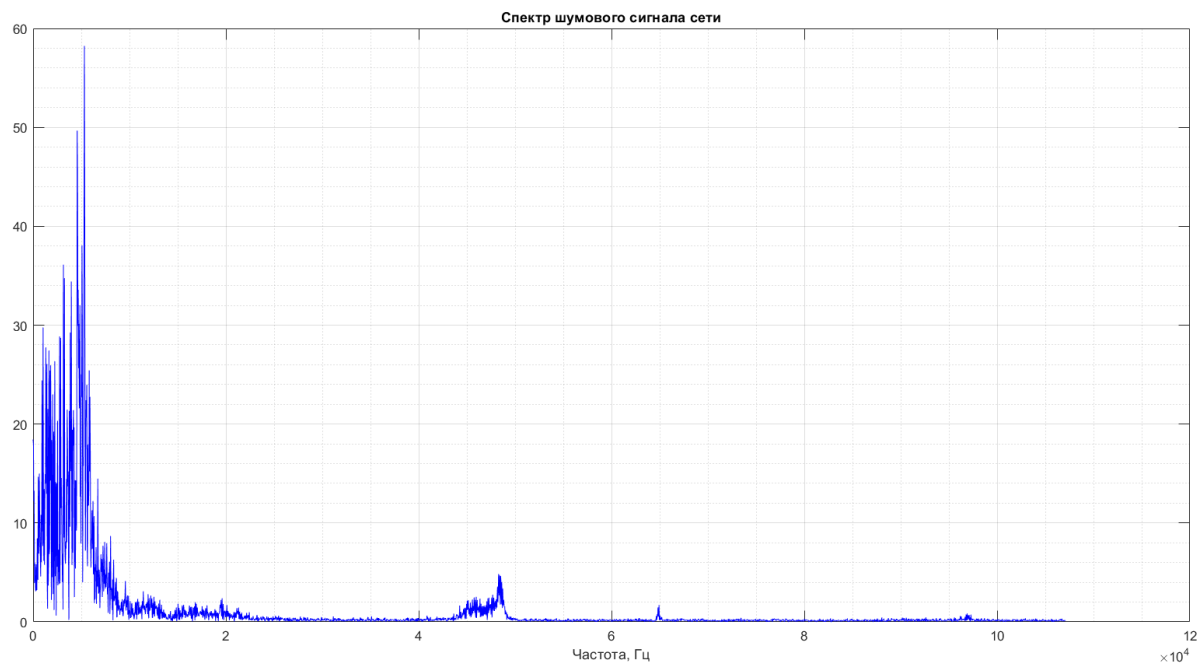


Рисунок 3 – Шумовая обстановка в сети электропитания в лаборатории

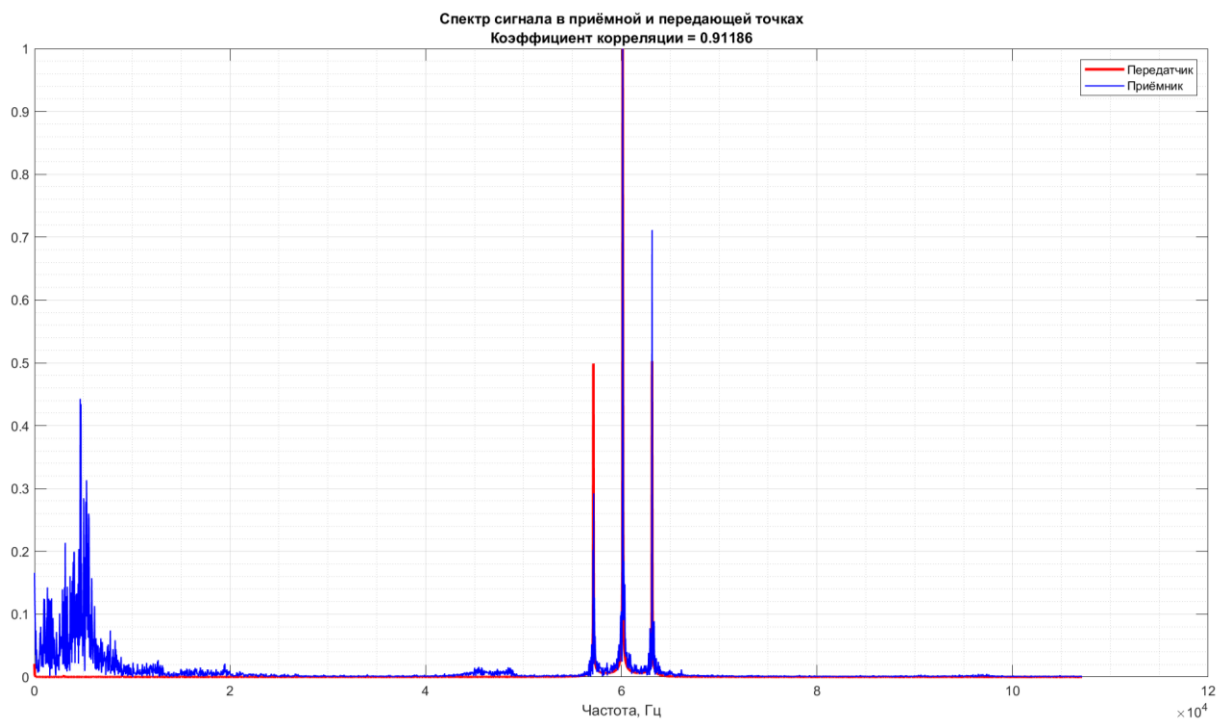


Рисунок 4 – Спектр сигнала с АМ в приёмной и передающей точках

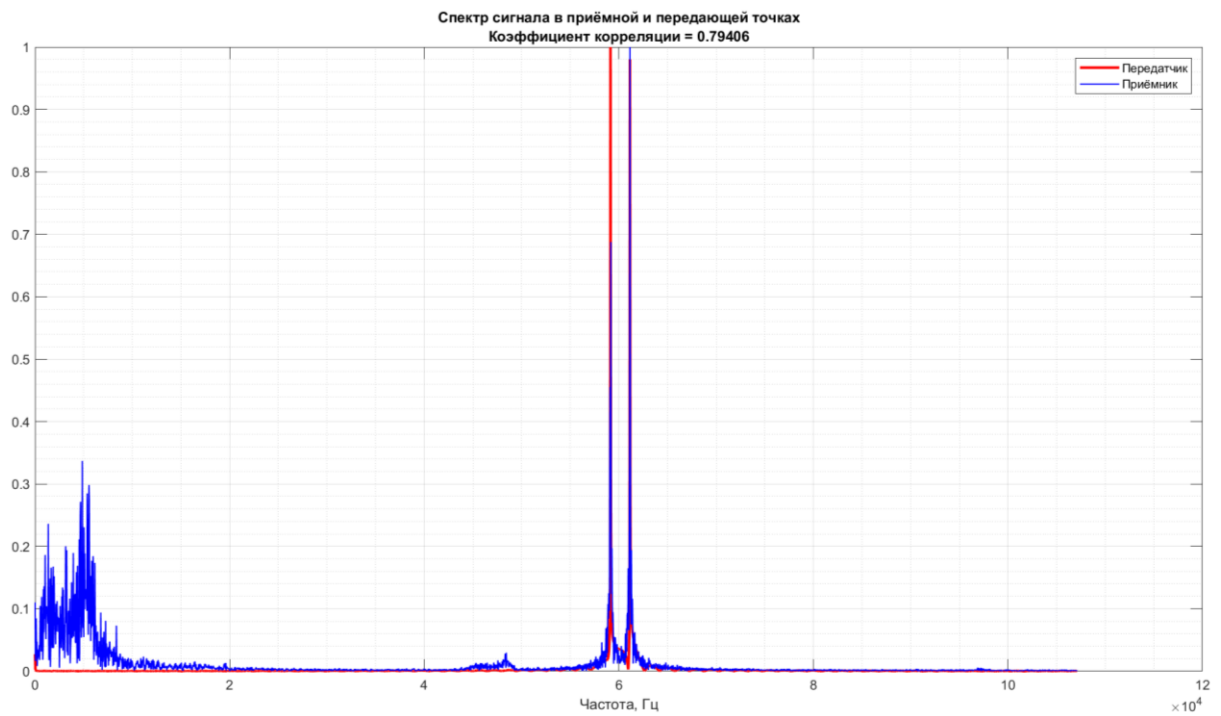


Рисунок 5 – Спектр сигнала с DSBAM в приёмной и передающей точках

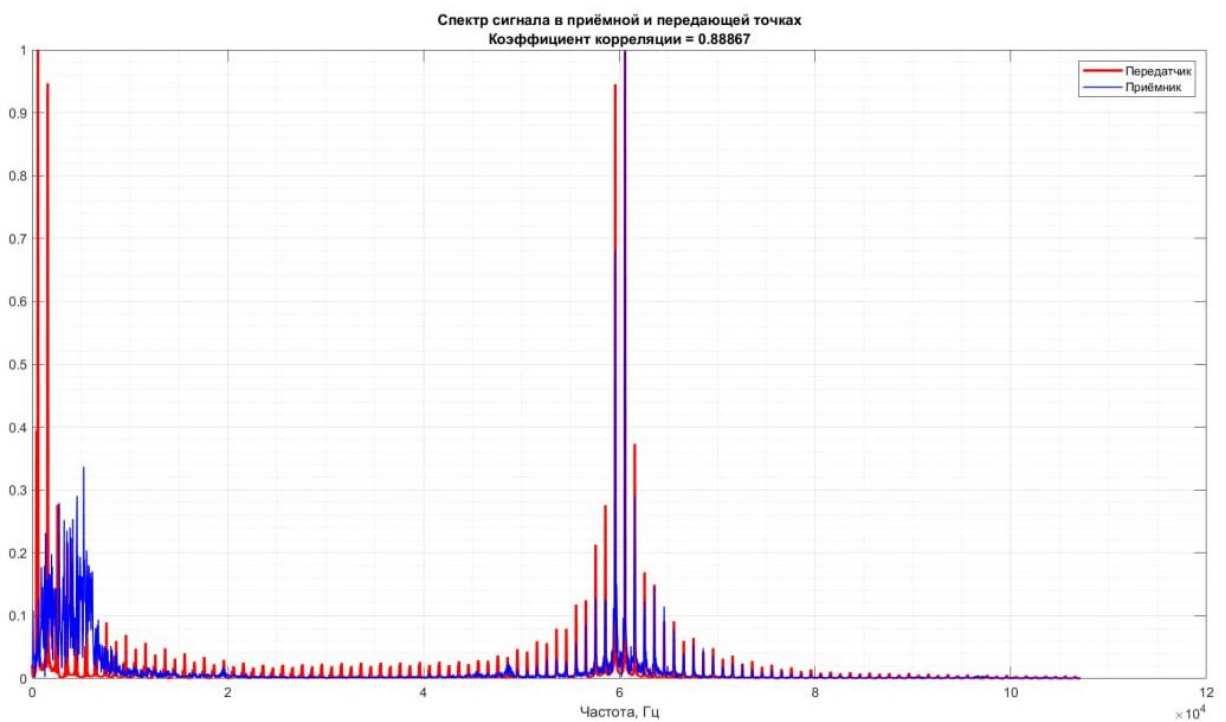


Рисунок 6 – Спектр сигнала с 3FSK в приёмной и передающей точках

Параметром оценки эффективности модуляции был выбран коэффициент корреляции – степень схожести двух спектров, в нашем случае. Результаты были сведены в столбчатую диаграмму (рис. 7), где по оси абсцисс отложены параметры каждой используемой модуляции, красным отмечен коэффициент корреляции больше 0,95.

3.5 Заключение

В результате проведённого теоретического и экспериментального анализа различных видов модуляции для узкополосной PLC-связи наилучшие характеристики по совокупности параметров (помехоустойчивость, спектральная эффективность, реализуемость) показали модуляции класса FSK, а также OSK и SUM. Именно эти варианты могут быть рекомендованы для дальнейшего внедрения в состав PLC-модемов, ориентированных на передачу телеметрической информации в условиях промышленной электросети.

4. Список источников

1. Микросхемы узкополосных приёмопередатчиков PLC для промышленного и бытового применения / Троицкий Ю., Нестеров А. // Современная электроника (Москва) – 2008. – Т.84, №8 – С. 16-21.
2. Зимин В. В. Промышленные сети: Учебное пособие. // Н.Новгород: НГТУ – 2006. – 252 с.
3. Цицикян Г. Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие // СПб: Изд-во СЗТУ. – 2006. – 59 с.

Отзыв руководителя от СКБ-4 «Сигнал» - Егорова Василия Валерьевича:

Студент группы М4О-503С-20 Тихонова Мария Алексеевна выполняла летнюю практику в СКБ-4 "Сигнал" МАИ. В ходе практики студенту была поставлена задача исследовать канал передачи информации по стандартным сетям электропитания 0,4 кВ, обосновать оптимальный вид модуляции и провести эксперимент по передачи данных. В ходе выполнения практики студент продемонстрировала высокий уровень теоретической подготовки по теме работы, проявила заинтересованность и выполнила поставленную задачу в срок. Прделанная работа имеет практическую пользу и научную значимость, так как полученные результаты предполагается применить при дальнейшей разработке устройств. Студент заслуживает оценки "отлично".