



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

Инженерно-педагогически факултет - Сливен

**Катедра „Електротехника, автоматика и
информационни технологии“**

Маг. инж. Юри Киров Желязков

**ОБРАБОТКА И ОБМЕН НА ИНФОРМАЦИЯ ПРИ
ИЗГРАЖДАНЕ НА АКТИВНО АДАПТИВНИ МРЕЖИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.2 „Електротехника, електроника и
автоматика”

Научна специалност: „Автоматизирани системи за обработка на информация
и управление ”

Научен ръководител: Доц. д-р инж. Димитър Няголов

СЛИВЕН, 2020 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от разширен катедрен съвет на катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ към Инженерно-педагогически факултет - Сливен на ТУ - София на редовно заседание, проведено на 06.07.2020 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 09.11.2020 г. от 10,00 часа в зала 1207 на ИПФ гр.Сливен на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ - 5.2 - 83 / 17.07.2020 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р инж. Стефка Иванова Неделчева – председател
2. Доц. д-р инж. Димитър Атанасов Няголов – научен секретар
3. Проф. д.н. инж. Миролуб Иванов Младенов
4. Проф. д-р инж. Никола Петров Михайлов
5. Проф. д.т.н. инж. Чавдар Иванов Дамянов

Рецензенти:

1. Проф. д-р инж. Стефка Иванова Неделчева
2. Проф. д-р инж. Никола Петров Михайлов

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на ИПФ-Сливен, ТУ-София, бул.“Бургаско шосе“ №59, Сливен.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ на ИПФ-Сливен. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като преобладаващата част от резултатите са публикувани.

Автор: маг. инж. Юри Желязков

Заглавие: Обработка и обмен на информация при изграждане на активно адаптивни мрежи

Тираж: 20 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Изграждането на интелигентните електрически мрежи създава възможности за масово навлизане и ефективно използване на децентрализирани енергийни ресурси, подобрява ефективността, устойчивостта и гъвкавостта на електрическата мрежа, създава възможности за взаимодействие на потребителите със системите за управление на енергията, позволява в реално време осъществяването на нарастваща ситуационна осведоменост за състоянието на мрежата чрез внедряването на съвременни системи за измерване, мониторинг и управление. От практическа гледна точка тази визия изисква широко разгръщане на "интелигентни" устройства, като сензори, изпълнителни механизми, интелигентни измервателни уреди и вградени микрокомпютри, които са в състояние да събират и обработват в реално време прецизна информация за системите за използване на електроенергия, както и за състоянието на разпределените енергийни ресурси и други компоненти на електрическата мрежа. Комуникационната инфраструктура на интелигентната електрическа мрежа се състои от набор от комуникационни технологии, мрежи и протоколи, които поддържат комуникационната свързаност между устройствата или мрежовите подсистеми и дават възможност за разпространение на информация и команди в рамките на електроенергийната система. Анализът на обработката и обmena на информация отговарящи на изискванията на активно адаптивните мрежи е актуален проблем при изграждането интелигентните мрежи. Научните изследвания на нерешените проблеми в областта на въздействието на електромагнитните смущения на оптималната работа на комуникационното оборудване, изграждането на гъвкава и устойчива интелигентна мрежа във връзка с изискванията за информационния обмен в комуникационните системи, са актуални, тъй като тяхното познаване дава възможност да се повиши надеждността на комуникационната инфраструктура в активно адаптивните мрежи.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Обектът на изследване в дисертационния труд са комуникационните системи за обработка и обмен на информация отговарящи на изискванията на активно адаптивните мрежи.

Целта на изследването в дисертационния труд е да се моделират и изследват определен клас системи за комуникация в активно адаптивните мрежи, при различни преносни среди между обектите за комуникация и вариативност на оборудването, с цел определяне на най-подходящите за конкретното приложение в реална работна среда.

Основните нерешени проблеми за достигането на целта са следните:

- Не е решен проблема за ефективно събиране, съхраняване и анализиране на информацията от интелигентните измервателни уреди в активно адаптивните мрежи.
- Критичен анализ на съвременните системи за цифрова обработка на сигналите и тяхната приложимост в конкретната област след извършване на обстоен теоретико-приложен анализ на специфичните особености на структурите и параметрите им.
- Анализ на методите за изграждане на комуникационните канали за пренос и обмен на данни в активно адаптивните мрежи в съответствие с новите технологии, усъвършенстването на DSP хардуера и съвременното развитие на алгоритмите за цифрова обработка на сигналите.

- Не са решени проблемите при изграждането на гъвкава и устойчива интелигентна мрежа във връзка с изискванията за информационния обмен в комуникационните системи, които са предпоставка и гаранция за реализация на информативна, автоматична и интерактивна интелигентна мрежа.
- Проблемите с наличието на електромагнитни смущения, свързани с електромагнитната интерференция, които водят до промяна на синхронизацията, намаляване производителността на мрежата или обща липса на надеждност на мрежата. Ограничаването на електромагнитните смущения е важна предпоставка за оптимално използване на комуникационното оборудване.

Набелязаните задачи за изследване в дисертацията са следните:

- Да се анализират съвременните методи и средства за изграждане на комуникационни канали в активно адаптивните електрически мрежи.
- Да се изследва и анализира въздействието на електромагнитните смущения в кабелите с усукани двойки проводници. Да се създадат програмни модели за въздействието на електромагнитните смущения в кабелите с усукани двойки проводници в среда на MATLAB.
- Да се проектира дуплексен, честотно манипулиран модем, изграден на базата на FX469, за обмен на телеметрична информация в Smart Grid комуникационните системи. Да се изследва радио модема, проектиран за използване при практическата реализация на система за дистанционен обмен на данни в комуникационните системи.
- Да се анализират протоколните и архитектурни решения, свързани с изграждането на IEEE 802.11 активно адаптивна мрежа. Да се изгради комуникационна система за обмен на данни по протокол IEEE 802.11. Да се създаде математически модел в среда на MATLAB/SIMULINK на MIMO канала на IEEE 802.11n в активно адаптивната мрежа.

Практическа приложимост

- Извършен е обзор и критичен анализ на съвременните методи и средства за изграждане на комуникационни канали в активно адаптивните електрически мрежи.
- Изследвана е чувствителността на най-често използваните категории кабели с усукана двойка проводници към външен източник на електромагнитна интерференция.
- Създадени са програмни модели в среда на Matlab/Simulink за въздействието на електромагнитните смущения в кабелите с усукани двойки проводници.
- Проектиран е дуплексен, честотно манипулиран модем, за обмен на телеметрична информация в активно адаптивните комуникационните системи.
- Изградена е комуникационна система за обмен на данни по протокол IEEE 802.11n.
- Създаден е математически модел в среда на Matlab/Simulink на MIMO канала на IEEE 802.11n в активно адаптивната мрежа.

Апробация

Дисертационният труд е докладван и обсъден на разширен катедрен съвет на катедра „Електротехника, автоматика и информационни технологии“ при ТУ – София, ИПФ – Сливен. Части от темата са докладвани на:

- Национална конференция с международно участие „Сливен 2015“, Сливен, 26 юни - 28 юни 2015г.
- Национална конференция с международно участие „Сливен 2018“, Сливен, 30 юни - 1 юли 2018г.
- Национална конференция с международно участие „Сливен 2019“, Сливен, 09 май – 10 май 2019г.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 6 бр. научни статии в България, от които 2 бр. самостоятелни.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 160 страници, като включва въведение, 4 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 147 литературни източници, като 127 са на латиница и 15 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 75 фигури и 20 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Въведение. Съществено значимите ключови фактори за успешното изграждане на интелигентните електрически мрежи са създаване на възможности за масово навлизане и ефективно използване на децентрализирани енергийни ресурси, подобряване на ефективността, устойчивостта и гъвкавостта на електрическата мрежа, създаване на възможности за взаимодействие на потребителите със системите за управление на енергията, осъществяване в реално време на ситуационна осведоменост за състоянието на мрежата чрез внедряването на съвременни системи за измерване, мониторинг и управление. За да поддържа събирането, разпространението и анализа на информацията, както и извършването на автоматичен контрол и оптимизация на електроенергийната система, интелигентната мрежова комуникационна система разчита на две основни подсистеми: комуникационна инфраструктура и междуплатформено програмно обезпечение. Комуникационната инфраструктура се състои от набор от комуникационни технологии, мрежи и протоколи, които поддържат комуникационната свързаност между устройствата или мрежовите подсистеми и дават възможност за разпространение на информация и команди в рамките на електроенергийната система. Основните изисквания за такава комуникационна инфраструктура са гъвкавост, надеждност, своевременност и сигурност. Промеждутъчната платформа се състои от софтуерен слой, който се намира между приложенията и съществуващата комуникационна инфраструктура, който предоставя услуги, необходими за изграждане на ефективни децентрализирани функции и системи. Тя е от първостепенно значение, за да гарантира сигурен и надежден обмен на данни в комуникационната система на интелигентната мрежа и за защита на цялата интелигентна мрежа. Общата архитектура на комуникационната система на интелигентната електрическа мрежа и нейните основни компоненти се изгражда чрез използване на референтен модел за идентифициране на основните системни изисквания и ключови технологии, със специален фокус върху комуникационните технологии и протоколи, услуги за управление на данни, автономни контролни функции и механизми за сигурност.

Глава първа

1. ОБЗОР И АНАЛИЗ НА СЪВРЕМЕННИТЕ МЕТОДИ И СРЕДСТВА ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА КОМУНИКАЦИОННИ КАНАЛИ В АКТИВНО АДАПТИВНИТЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ МРЕЖИ

Изграждането на интелигентната електрическа мрежа е еволюционна трансформация на съществуващата електрическа мрежа към оптимизирана, надеждна и устойчива система. Това е съвременна концепция, защото през последните години се внедриха много нови съоръжения на силовата електротехника, средства за комуникация и компютризация, технологии за управление на мрежите. Изграждането на активно-адаптивните електрически мрежи предполага обединение на технологично ниво на всички участници в процеса на производство, пренасяне, преобразуване, разпределение и потребление на електрическата енергия в единна автоматизирана система.

Целта на изследването в първа глава е да се извърши обзор и критичен анализ на съществуващите, съвременни методи и средства при изграждането на комуникационни канали в активно-адаптивните електрически мрежи и да се конкретизират най-съществените нерешени до момента проблеми.

1.1. Анализ на видовете методи и средства за изграждане на комуникационни канали в активно адаптивните електрически мрежи

Присъствието в интелигентната мрежа на широка наблюдателна и комуникационна инфраструктура е от съществено значение за оценката на състоянието на системата, събиране на сензорна информация, предаване на контролни сигнали и разрешаване на децентрализираните интелигентни приложения да управляват потоците на електроенергия в мрежата.

За да се подобри надеждността при предоставяне на електроенергията и за да се подобри автоматизираното разпределение, още през 1960 г. електрическите компании започват интегрирането на Система за събиране на данни, наблюдение и управление (SCADA) в своите енергийни мрежови инфраструктури. SCADA не е специфична технология, и обикновено се отнася за компютърно-базирани централизирани системи с приложения за контрол на промишлените процеси.

В съвременните електрически мрежи започна поетапно изграждане на интелигентни или активно адаптивни електрически мрежи. За успешното внедряване на интелигентните мрежи е необходимо да бъдат изпълнени следните условия:

- Усъвършенстване на инфраструктурата за измерване режимните параметри на произведената и доставената електроенергия;
- Децентрализиране на енергоресурсите, необходими за нейното производство;
- Изграждане на интелигентни електроенергийни микроелектрически мрежи;
- Въвеждането на нови технологии за съхранението на електроенергия в акумулиращите системи на електромобилите.

1.2. Методи и средства за изграждане на интелигентни електрически мрежи

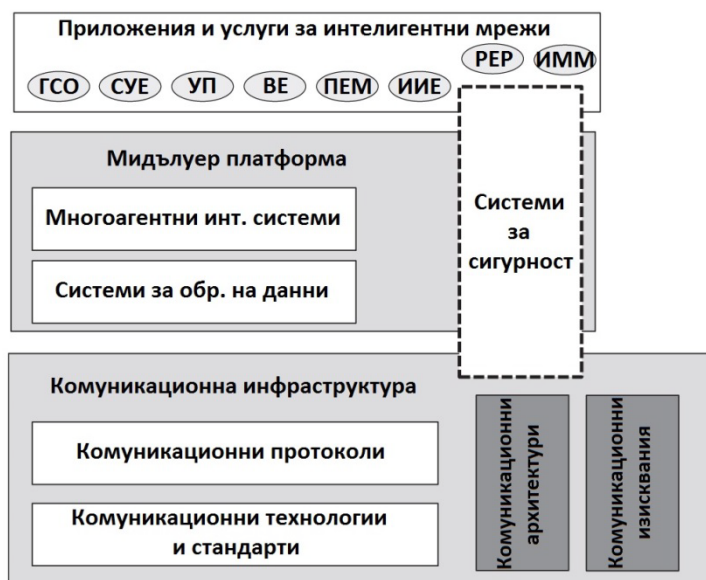
Smart grid визията включва иновативни услуги и приложения в допълнение към технологичните трансформации. Едно от най-важните приложения, което интелигентните мрежи трябва да поддържат е глобална ситуационна осведоменост в реално време, която се дефинира като способност за изграждане на подробно описание на текущото състояние на електропреносната мрежа в голям мащаб. Тази информация може да се анализира, като се предскаже еволюцията на състоянието на електрическата мрежа при различни условия на работа и енергийни стратегии за контрол и управление. При съществуващите електрически мрежи, управлението на функционалните възможности се осъществява от центровете за управление на услугите, което обикновено се изпълнява чрез разпределени SCADA системи. Независимо от това е известно, че в интелигентните мрежи е необходимо да се приеме по-децентрализиран модел за управление, в който множество автономни и независими системи за управление на енергията (EMS) да си сътрудничат, за

да постигнат желаните цели за управление чрез използване на събраната от WASA приложения информация, като за целта EMS трябва да могат да работят върху различни части от мрежата и то в различни мащаби.

1.3. Анализ на референтния модел на комуникационни системи за интелигентни мрежи

Интелигентната мрежова архитектура изисква интегриране на енергийната инфраструктура, отговорна за производството, доставката и потреблението на електрическа енергия, с комуникационната система, която осигурява поддръжка на функции за автоматизиран и разпределен мониторинг, управление и оптимизация.

Комуникационната система (фиг.1.3) включва различни технологии, компоненти и услуги, като се състои от две основни части:



Фиг.1.3 Референтен модел на комуникационна система на интелигентна електрическа мрежа

Комуникационна инфраструктура. Тя е отговорна за предоставяне на услугата за свързаност между отделните електрически устройства или на цели интелигентни интегрирани подсистеми.

В контекста на интелигентните електрически мрежи, основните приоритети на тази съобщителна мрежа са:

- да осигури в реално време надеждно събиране на информация от огромен брой широко разсредоточени източници на данни;
- да поддържа различни комуникационни услуги за многоадресни и групови съобщения, необходими на приложенията за контрол на мощността и за изпращане на команди и инструкции за конфигуриране на ЕЕС.

Тази съобщителна инфраструктура е сбор от взаимосвързани мрежи, които са структурирани в йерархия на три основни слоя или домейни, съдържащи локални мрежи за достъп до сегменти на мрежата и крайните клиенти, полски мрежи за управление на сегментите и глобални мрежи като гръбнак на обществените услуги.

Междуплатформено програмно обезпечение. Мидълуер е софтуерен слой осигуряващ комуникация и услуги за управление на данни за децентрализирани приложения, а също така и стандартните интерфейси между приложенията и устройствата в интелигентната електрическа мрежа.

Съществуват различни видове мидълуер решения. Те се разграничават едно от друго по набора от регистри и програмни интерфейси, които предоставят на приложенията, като разпределени обекти, известия за събития, разпределено управление на съдържанието и синхронни/асинхронни комуникационни функции. Също така Мидълуер все повече се използва за да се създаде равнопоставен слой децентрализирани системи, в които устройствата (възлите) се самоорганизируют в мрежа и си съдействат едни на други чрез споделянето на част от техните ресурси (памет, изчислителна мощ, честотна лента) с цел да се осигурят полезни услуги като търсене на данни, разпределено съхранение или изчислителен интелект.

1.4. Анализ на параметрите и формиране на изисквания към комуникационните инфраструктури при изграждането на интелигентни електрически мрежи.

При проектирането и разработката на комуникационната мрежа, трябва да се вземат под внимание следните фактори:

- използвани комуникационни технологии, за създаване на връзки между различните устройства;
- приложими мрежови топологии в контекста на инфраструктурата на електрическата мрежа, като се отчете тяхното влияние върху комуникационните технологии и структурата на топологията на мрежата;
- най-подходящи мрежови и транспортни протоколи за изпълнение на изискванията на комуникационната интелигентна мрежа.

За да бъдат определени кои комуникационни технологии са най-подходящи за интелигентните мрежи на първо място е необходимо да се дефинират основните системни изисквания към комуникационните инфраструктури, на които трябва да отговарят. Най-съществените от тях са насочени към две категории:

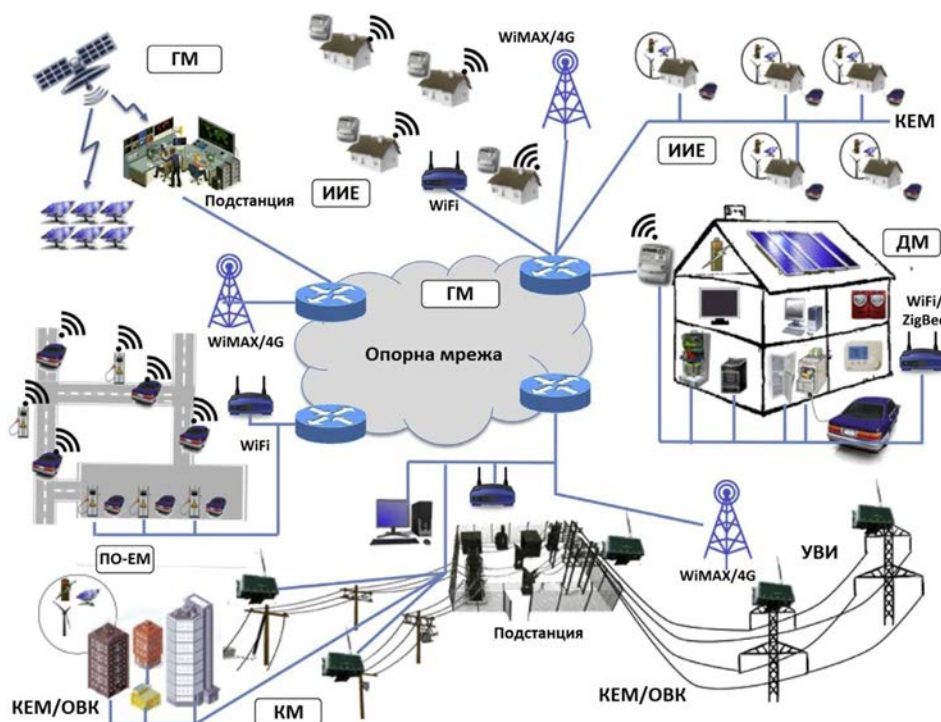
- количествени изисквания - специфицират по измерим начин целевата комуникационна функционалност изисквана от приложенията;
- качествени изисквания - идентифицират възможностите, които трябва да бъдат поддържани от съобщителната система.

1.4.1. Анализ на видовете комуникационни технологии и стандарти

Комуникационните технологии могат да се класифицират в две големи категории - жични технологии и безжични технологии. Жичните технологии се считат за по-добри от безжичните по отношение на надеждност, сигурност и ширина на честотната лента, защото кабелите са по-лесни за предпазване от външна намеса и подслушване. Освен това оборудването обикновено е по-евтино в сравнение с безжичните решения, като разходите за поддръжка са по-ниски. От друга страна, безжичните мрежи осигуряват ниски инсталационни разходи и гъвкаво разполагане с минимално окабеляване, които са основни изисквания за бързо осигуряване на мрежова свързаност на големи площи или в райони, където няма предварително изградена комуникационна инфраструктура. В тази връзка се предлагат и прилагат нови подходи за подобряване на енергийната ефективност на мобилните устройства и последните достижения в широколентовите безжични технологии, които предоставят скорости за предаване на данни и мрежов капацитет сравними с тези на популярните кабелни мрежи.

1.4.2. Структура и анализ на интелигентната комуникационна, мрежова архитектура

Интелигентната комуникационна мрежова инфраструктура стандартно се прилага като йерархична мрежа с тристепенна архитектура, състояща се от: ниво за достъп, разпределително ниво и централно ниво. Тази референтна мрежова архитектура позволява да се установи съответствие между технологиите за комуникация и различните компоненти на комуникационната инфраструктура. На фиг. 1.5 е показан референтен архитектурен модел, като пример за интелигентна комуникационна мрежа.



Фиг.1.5 Модел на комуникационна инфраструктура за интелигентни електрически мрежи

1.5. Структура и анализ на Middleware платформи за интелигентни мрежи

Съществуващите мидълуер платформи в активно адаптивните мрежи предоставят различни оптимизиращи инструменти и механизми за съвместно контролиране на сложни системи, състоящи се от голям брой взаимосвързани и взаимозависими елементи работещи в динамични среди. По-специално, многокомпонентните мидълуер платформи привличат вниманието от страна на изследователите в областта на интелигентните мрежи, тъй като те се явяват най-подходящата технология, която осигурява възможност за самостоятелна адаптация и самовъзстановяване на интелигентните мрежи. Мидълуер платформите се класифицират на три основни категории: мидълуер услуги за управление на данни, обектно-ориентиран мидълуер и многокомпонентни системи.

1.6. Структура и анализ на механизмите за сигурност в интелигентните електрически мрежи

Водещите компании за доставка на електроенергия разглеждат въпросите за сигурността, защитата и надеждността на електрическите инфраструктури като един от основните им приоритети, защото провали или неизправности в енергийните системи не само ще имат икономически последици, но също може да причинят сериозни щети на потребителите. Различните категории атаки на сигурността, специфични за интелигентните електрически мрежи, както и най-важните уязвимости на интелигентната мрежова комуникационна система може да бъдат класифицирани както следва: уязвимости на устройствата, мрежови уязвимости и уязвимост на данните.

1.7 Изводи и заключения по първа глава

- Анализирани са видовете методи и средства за изграждане на комуникационни канали в активно адаптивните електрически мрежи.
- Изграден е референтен модел на комуникационни системи за интелигентни мрежи.
- Анализирани са видовете комуникационни технологии и стандарти в Smart Grid мрежите.
- Изследвани са механизмите за сигурност в интелигентните електрически мрежи.

Глава втора

2. ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ СМУЩЕНИЯ В КАБЕЛИТЕ С УСУКАНИ ДВОЙКИ ПРОВОДНИЦИ. СЪЗДАВАНЕ НА ПРОГРАМНИ МОДЕЛИ ЗА ВЪЗДЕЙСТВИЕТО НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНИТЕ СМУЩЕНИЯ В КАБЕЛИТЕ С УСУКАНИ ДВОЙКИ ПРОВОДНИЦИ В СРЕДА НА MATLAB

Целта на разработката във втора глава е да се изследва и анализира въздействието на електромагнитните смущения в кабелите с усукани двойки проводници. Да се създадат програмни модели за въздействието на електромагнитните смущения в кабелите с усукани двойки проводници в среда на MATLAB.

2.1 Анализ на преносните среди с усукани двойки проводници

Комуникационната система в интелигентната мрежа е интерфейса между потребителите и доставчиците при управлението на потреблението на електроенергия. Активно адаптивната мрежа изисква специална инфраструктура, която позволява на системата да комуникира между интелигентните измервателни уреди и сървърите и обратно с клиентите. Мрежовият кабел е един от видовете преносна среда за предаване на данни между различни точки на интелигентната мрежова инфраструктура. В съществуващите LAN мрежи се използват различни мрежови кабели. Изборът на вида на кабела за комуникационната инфраструктура зависи от мрежовата топология, размера, използваните протоколи и материалните разходи.

2.2 Анализ на основните характеристики, оказващи влияние върху предавателните параметри на кабелите с усукани двойки проводници

Основните характеристики, оказващи влияние върху предавателните параметри на кабелите с усукани двойки проводници са затихване, ширина на честотната лента, електрически характеристики на кабелите, прислушване, обратно затихване, неравномерност на закъснението при разпространението на сигнала.

2.3 Оценка на факторите, които влияят на характеристиките на локалните мрежи

Съвременната телекомуникационна индустрия използва стандартен кабел от усукана двойка категория 5 или по-висока като предпочитана преносна среда за Ethernet LAN и гласови комуникации. Системните администратори и проектантите на инсталации могат да реализират значителни икономии на разходи за материали или време за монтаж, като комбинират комуникационни и силови проводници в един монтажнен канал или ги изграждат много близо до оборудване с висока плътност. Въпреки това, тази икономична практика прави окабеляването силно уязвимо по отношение на шума, свързан с електромагнитната интерференция (EMI). Тъй като скоростите на комуникация се увеличават, заедно с качеството на преноса, нараства важността на ефектите от шума и потенциално разрушителното му въздействие върху балансираните телекомуникационни кабели с усукана двойка. Основните явления, които влияят на характеристиките на локалните мрежи се състоят от множество фактори с различна физическа природа които се свеждат до: параметрите на усуканата двойка проводници, кодиране на физическо ниво, преобразуване на електрическите сигнали на физическо ниво, параметри на ЕМ смущение.

Източниците на ЕМИ могат да бъдат различни в зависимост от причинителя:

- породени от електроенергийната мрежа и нейните съоръжения;
- дължащи се на промишлено и търговско оборудване;

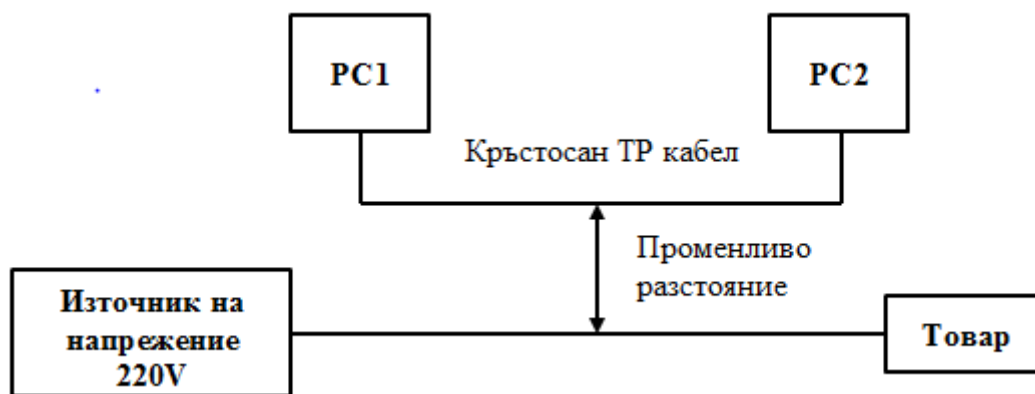
- причинени от машини и инструменти;
- дължащи се на комуникационни системи;
- породени от потребителски устройства.

Най-успешните начини за минимизиране на ефекта от излъчените емисии и подобряване на устойчивостта на шум при усукана двойка проводници зависят от принципа на балансирано предаване на сигнала по двойката усукани проводници. Тази техника ефективно намалява както нежеланите електромагнитни смущения постъпващи от проводниците, така и индуктивните смущения.

2.4 Анализ на чувствителността на най-често използваните категории кабели с усукана двойка проводници към външен източник на електромагнитна интерференция

В това изследване е направен подробен анализ на чувствителността на най-често използваните категории кабели с усукана двойка проводници към външен източник на ЕМИ.

Мрежовите кабели бяха подложени на електрически генериран шум. Чувствителността им към източника на ЕМИ е определена чрез оценяване на предавателните параметри на кабела, нивата на електрическото шумово замърсяване и грешките в мрежови пакети под въздействието на източника на шум, от различно разстояние. Всички експерименти бяха проведени за кабели категория 5e UTP и FTP и категория 6 UTP. За наблюдение на ефекта на ЕМИ върху кабела с усукани двойки проводници използваме два персонални компютъра свързани директно чрез използване на кръстосан кабел (фиг.2.6).



Фиг.2.6. Модел на експерименталната установка

Файл с големина 28,6 GB се споделя между двата компютъра и се прехвърля между тях. Размерът на файла е така подбран, за да се трансферира дълго време, което ни дава достатъчно време да снемем желаните данни.

Тестовите кабелни канали се подлагат постоянно на източник на смущения от ЕМИ, чрез хоризонтално поставяне на различно разстояние на източника по цялата дължина на кабела за тестване. Тази конфигурация гарантира, че цялата дължина на хоризонталното окабеляване може да бъде подложена на тестовия източник на ЕМИ едновременно, което улеснява наблюдението на ефекта на ЕМИ върху характеристиките на кабелите.

Първоначално бяха измерени сигналните напрежения на изследваните категории кабели при отсъствие на източник на електромагнитна интерференция.

След това бяха измерени сигналните напрежения на изследваните категории кабели при въздействие на източник на електромагнитна интерференция. Проведените измервания са направени за следните видове кабели: UTP CAT5e, FTP CAT5e, UTP CAT6, UTP CAT6a. Източника на смущения от ЕМИ е със стойности на товара 100W, 300W, 500W, 1kW, 2kW. Отстоянията между кабелите с усукани двойки проводници и смущаващия проводник са 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20см.

При проведените изследвания, електрическият шум, въведен в Ethernet кабелите на различно разстояние варира в зависимост от вида на тествания кабел. Анализът от измерването показва, че:

- вариациите на сигнала са по-значими до разстояние 6см между кабела с усукани двойки проводници и захранващия кабел;

- промяната на сигналното напрежение е максимална, когато и двата кабела са в непосредствен контакт;

- вариациите на сигнала стават по-значими с увеличаването на използваните стойности на натоварването;

- при малки стойности на товара (100W, 300W) не се наблюдава промяна в минималните стойности на сигналите на предавателните и приемните чифтове от кабелите CAT5e, CAT5e FTP, CAT6 и CAT6a UTP. Променени бяха само максималните стойности на сигналите за всички видове използвани кабели;

- при CAT5e, и товар 2kW, на разстояние от 14см до 20 см не се наблюдава промяна в сигналното напрежение и за предавателните и за приемните чифтове. За отстояние по-малко от 15см, се променят максималните и минималните сигнални напрежения за предавателната и приемната двойка проводници;

- за CAT5e FTP, при 2kW товар, на разстояние от 8 до 20см не е наблюдавана промяна в сигналните напрежения и за двата предавателни и приемни чифта. При отстояние по-малко от 8см, максималните и минималните напрежения на сигнала както за предавателната, така и за приемната двойка бяха променени;

- при CAT6 UTP, при 2kW товар, на разстояние от 14 до 20см не е наблюдавана промяна в сигналните напрежения и за двата предавателни и приемни чифта. При отстояние по-малко от 14см, максималните и минималните напрежения на сигнала както за предавателната, така и за приемната двойка бяха променени;

- за CAT6a UTP, при близо 2kW товар, на разстояние 6 до 20см не е наблюдавана промяна в сигналните напрежения и за двата предавателни и приемни чифта. При отстояние по-малко от 6см, сигналните напрежения както за предавателните така и за приемните чифтове са променени;

- в рамките на изследването не са наблюдавани значителни ефекти върху всички кабели, с изключение на някои единични отклонения в обратното затихване, което може да се дължи на отклонения от номиналния импеданс на един или повече сегменти на кабела;

- при нормални работни условия (отсъствие на ЕМИ) не са открити пакетни грешки за всички категории кабели за 100baseTX и 1000baseT Ethernet. При 100baseTX Ethernet не бяха открити грешки на пакети за кабели от категория 5 и категория 6, независимо от вида източник на ЕМИ, местонахождението на източника или продължителността на въздействието;

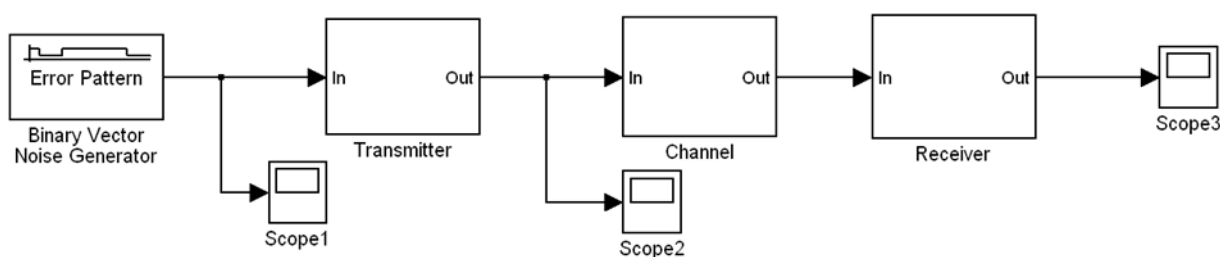
- някои единични CRC грешки бяха открити само при кабели 1000baseT Ethernet категория 6 с източник, разположен много близо до тях. Този резултат дава допълнително потвърждение на наблюденията за влиянието на индуцирания шум, който става все по-значим при увеличаване скоростта на предаване на данните.

Изследването на ефектите на ЕМИ в Ethernet кабелите с усукани двойки проводници показват нарастващата важност на EMC във високоскоростните кабелни проекти. За да се осигурят детерминистични резултати, които могат да бъдат задължителни в мрежи на ниво изграждане, трябва да се отчете влиянието на външни шумове върху кабелната система, особено при наличието на висококачествени кабели и високочестотни техники за предаване. Това се постига, като се следват правилните указания за инсталиране, като се избират подходящите материали и се подобряват електрическите свойства на кабелната инфраструктура.

2.5 Създаване на програмни модели в среда на Matlab за въздействието на електромагнитните смущения в кабелите с усукани двойки проводници

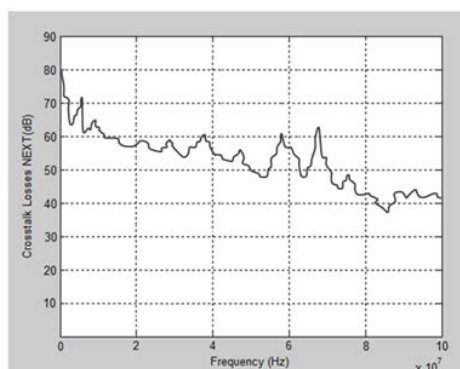
2.5.1 Създаване на програмен модел в среда на Matlab/Simulink за въздействието на преходното затихване между чифтовете в кабел с усукани двойки проводници измерено в близкия край NEXT (от страна на предавателя на сигнала)

На фиг.2.8 е показана блокова схема на NEXT в Simulink на най-високото йерархично ниво. Този модел на Simulink се състои от генератор на произволна двоична последователност като източник на сигнала, предавател 100BaseTX за преобразуване на информационната последователност, кабел с усукана двойка проводници от категория CAT5 и приемник 100BaseTX. Три осцилоскопа са поставени в модела след информационната последователност, предавателя и приемника за визуализиране на резултатите от симулацията.

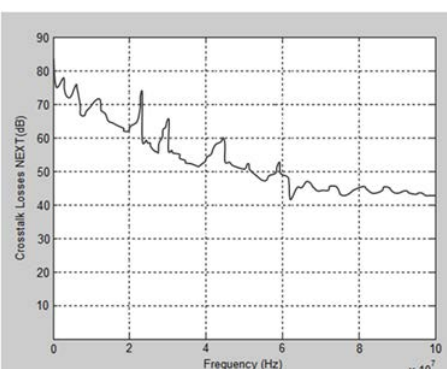


Фиг.2.8 Модел на прислушване в близкия край NEXT

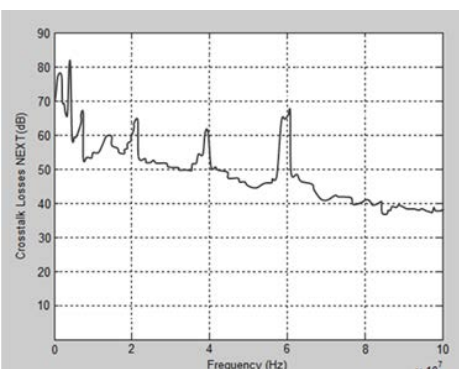
Резултати от направените симулации за въздействието на преходното затихване между чифтовете в кабел с усукани двойки проводници измерено в близкия край NEXT.



Фиг.2.12 Преходно затихване NEXT при отстояние от мин. стандарт 10,2 dB на честота 86MHz



Фиг.2.13 Преходно затихване NEXT при отстояние от мин. стандарт 8,9 dB на честота 63MHz



Фиг.2.14 Преходно затихване NEXT при отстояние от мин. стандарт 6,5 dB на честота 8MHz

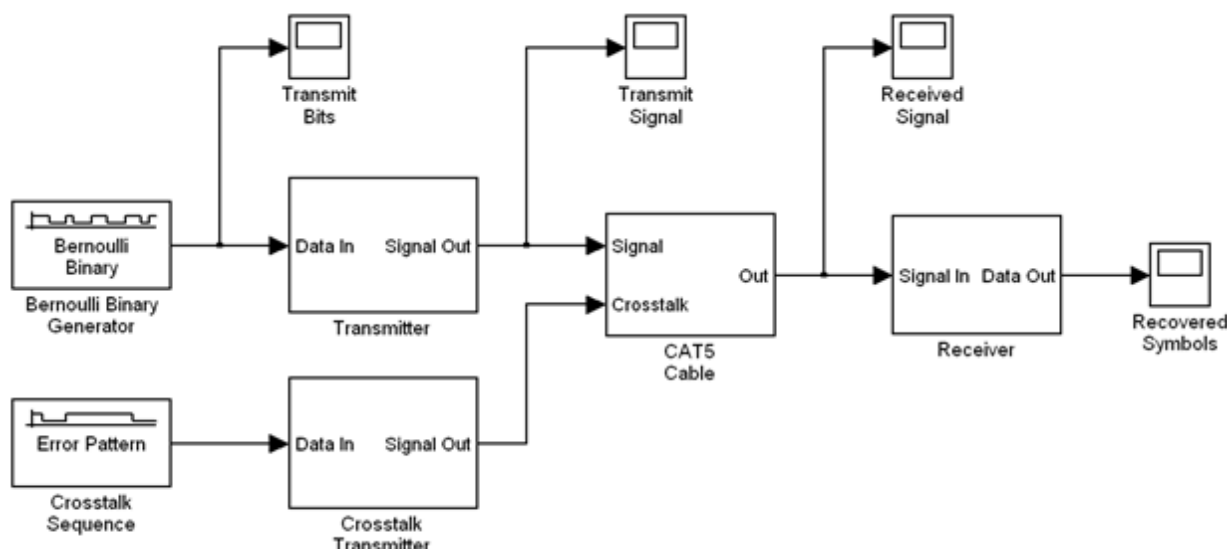
Резултатите от симулациите показват, че с увеличаването на честотата прислушването в близкия край намалява. Стандартите нормират само минималната стойност на NEXT параметъра. Кабел с усукани двойки проводници отговаря на изискванията на стандарта, ако в целия диапазон на работната честота измерената стойност NEXT не е под определената в нормите.

Ако проводниците не са плътно или неравномерно усукани, резултатът е висок Near End Crosstalk.

2.5.2 Създаване на програмен модел в среда на Matlab/Simulink за въздействието на преходното затихване между чифтовете в кабел с усукани двойки проводници измерено в далечния край FEXT

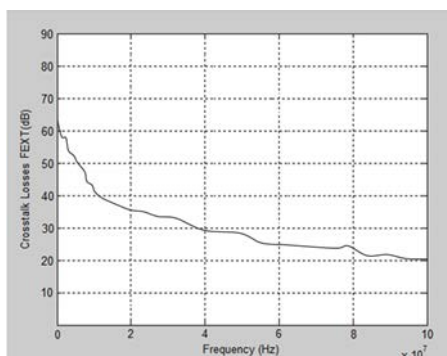
На следващата фигура е показана блокова схема на модела на FEXT в Simulink, представляващ една от двете усукани двойки проводници на най-високото йерархично ниво. Този модел на Simulink се състои от генератор на произволна двоична

последователност като източник на сигнал, предавател за преобразуване на информационната последователност в напрежение, генератор на двоични произволни последователности като източник на FEXT, предавател за преобразуване на двоичната последователност в шум от прислушване, кабел с усукана двойка от категория 5 и приемник.

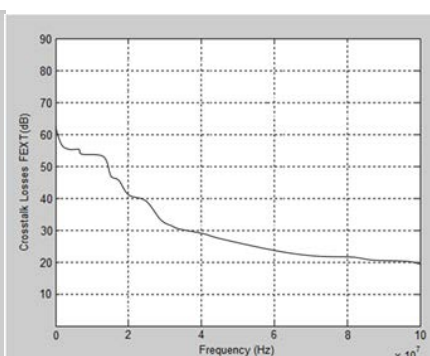


Фиг.2.15 Модел на прислушване в далечния край FEXT

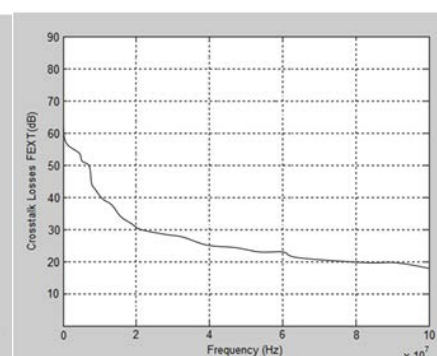
Резултати от направените симулации за въздействието на преходното затихване между чифтовете в кабел с усукани двойки проводници измерено в далечния край FEXT.



Фиг.2.19 Преходно затихване FEXT при дължина на линията 20м.



Фиг.2.20 Преходно затихване FEXT при дължина на линията 50м.



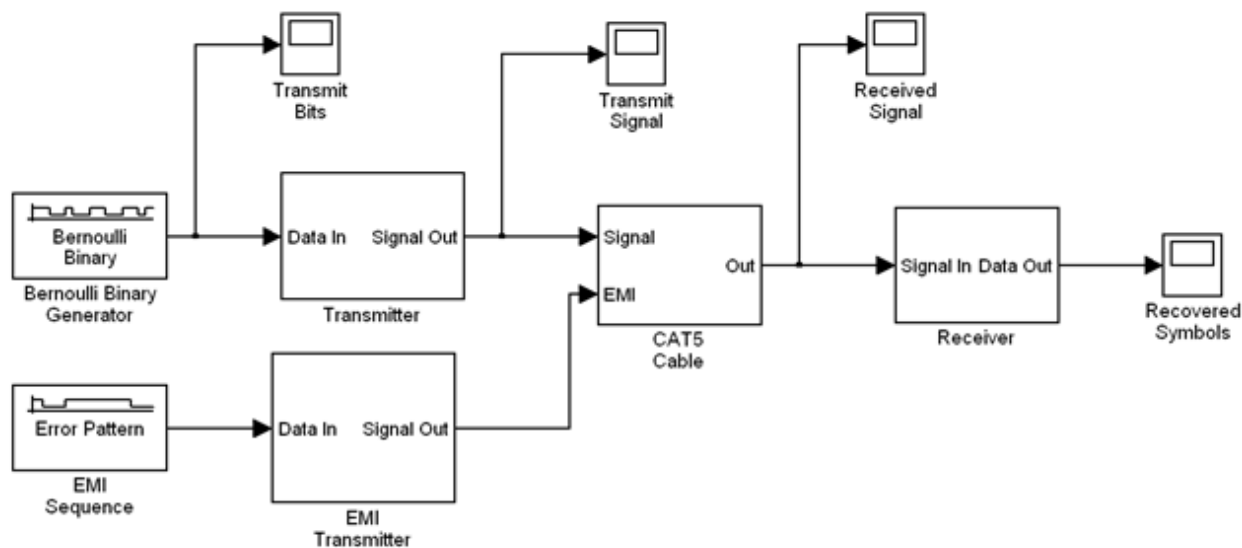
Фиг.2.21 Преходно затихване FEXT при дължина на линията 80м.

В резултат на направените изследвания в симулационния модел е установено, че параметърът FEXT зависи от дължината на кабела с усукани двойки проводници. Две кабелни линии, които използват едни и същи елементи но имат различна дължина ще имат различни значения на прослушването в далечния край. FEXT намалява с увеличаване на дължината на линията. Резултатите показват, че с увеличаване на честотата намалява прислушването в далечния край.

2.5.3 Създаване на програмен модел в среда на Matlab/Simulink за въздействието на външен източник на електромагнитна интерференция в кабел с усукани двойки проводници

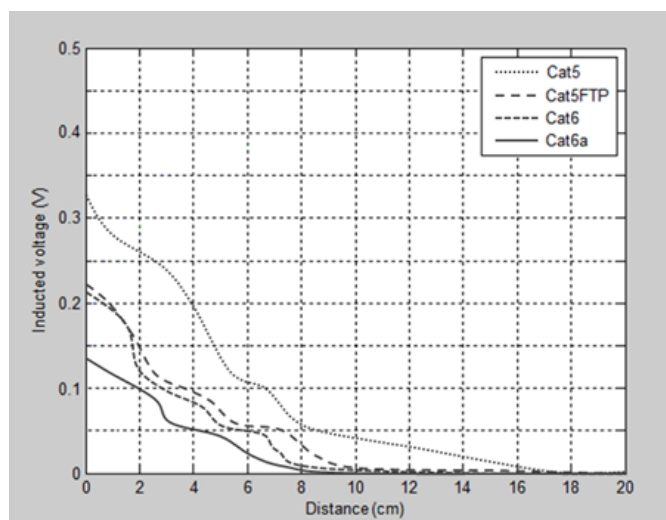
На фиг.2.22 е показана блокова схема на модела на влиянието на ЕМИ върху TP кабел в Simulink, на най-високото йерархично ниво. Този модел на Simulink се състои от генератор на произволна двоична последователност като източник на сигнал, предавател за преобразуване на информационната последователност в напрежение, генератор на

двоични произволни последователности като източник на ЕМИ, предавател за преобразуване на двоичната последователност в шум от електромагнитна интерференция, кабел с усукана двойка от категория 5 и приемник.



Фиг.2.22 Модел на влиянието на ЕМИ върху TP кабел

Резултати от направените симулации за въздействието на външен източник на електромагнитна интерференция върху кабели с усукани двойки проводници.



Фиг.2.25 Обобщен резултат от въздействието на ЕМИ върху кабелите с TP

В резултат на направените изследвания в симулационния модел е установено, съответствие между практическите измервания и резултатите от симулациите при въздействие на източник на електромагнитна интерференция върху кабелите с усукани двойки проводници. Резултатите от симулациите показват, че вариациите на сигнала на приемната страна се засилват с увеличаване на използваните стойности на натоварването и намаляване на отстоянието между изследваните кабели и източника на ЕМИ. Промяната на сигналното напрежение е максимална при непосредствен контакт между TP кабела и източника на смущения. Получените резултати от измерванията и симулациите могат да се използват при полагане на силови и комуникационни кабели в близки монтажни канали

при средни стойности на товара и невъзможност от спазване на препоръките за минимални отстояния в кабелните мрежи.

2.6 Изводи и заключения по глава втора:

- Анализирани са преносните среди с усукани двойки проводници и техните характеристики в интелигентната мрежова инфраструктура;
- Основните фактори, които влияят на характеристиките на локалните мрежи са параметрите на усуканата двойка проводници, кодиране и преобразуване на електрическите сигнали на физическо ниво, източници и параметри на смущенията породени от електромагнитната интерференция;
- На база на извършените изследвания са отчетени специфичните особености на влиянието на ЕМИ върху предавателните параметри на кабелите;
- Извършен е анализ на чувствителността на най-често използваните категории кабели с усукана двойка проводници към външен източник на електромагнитна интерференция, като е установено, че:
 - промяната на сигналното напрежение е максимална, когато и двата кабела са в непосредствен контакт;
 - промените на сигнала стават по-значими с увеличаването на използваните стойности на натоварването;
 - вариациите на сигнала са по-значими до разстояние 6см между кабела с усукани двойки проводници и захранващия кабел;
 - при малки стойности на товара (100W, 300W) не се наблюдава промяна в минималните стойности на сигналите на предавателните и приемните чифтове от кабелите CAT5e, CAT5e FTP, CAT6 и CAT6a UTP. Променени бяха само максималните стойности на сигналите за всички видове използвани кабели;
 - в рамките на изследването не са наблюдавани значителни ефекти върху всички кабели, с изключение на някои единични отклонения в обратното затихване, което може да се дължи на отклонения от номиналния импеданс на един или повече сегменти на кабела;
 - при нормални работни условия (отсъствие на ЕМИ) не са открити пакетни грешки за всички категории кабели за 100baseTX и 1000baseT Ethernet. При 100baseTX Ethernet не бяха открити грешки на пакети за кабели от категория 5 и категория 6, независимо от вида източник на ЕМИ, местонахождението на източника или продължителността на въздействието;
 - някои единични CRC грешки бяха открити само при кабели 1000baseT Ethernet категория 6 с източник, разположен много близо до тях. Този резултат дава допълнително потвърждение на наблюденията за влиянието на индуцирания шум, който става все по-значим при увеличаване скоростта на предаване.
- Разработени са програмни модели в Matlab/Simulink, които дават възможност да се оценят и анализират влиянията на FEXT, NEXT и ЕМИ при кабели с усукана двойка проводници;
- Получените резултати от измерванията и симулациите могат да се използват при полагане на силови и комуникационни кабели в близки монтажни канали при средни стойности на товара и невъзможност от спазване на препоръките за минимални отстояния при изграждане на кабелните мрежи.

Глава трета

3. ПРОЕКТИРАНЕ НА ДУПЛЕКСЕН, ЧЕСТОТНО МАНИПУЛИРАН МОДЕМ, ИЗГРАДЕН НА БАЗАТА НА СПЕЦИАЛИЗИРАН МОДУЛ FX469 НА ФИРМАТА CML SEMICONDUCTOR, ЗА ОБМЕН НА ТЕЛЕМЕТРИЧНА ИНФОРМАЦИЯ В SMART GRID КОМУНИКАЦИОННИТЕ СИСТЕМИ

Целта в трета глава е да се анализират съществуващите схемни решения и на базата на направените констатации за техните предимства и недостатъци да се проектира блоковата и принципна схеми на дуплексен, честотно манипулиран модем, изграден на базата на специализиран модул FX469 на фирмата CML Semiconductor, за обмен на телеметрична информация, който да отговаря на изискванията на Smart Grid комуникационните системи.

3.1 Анализ на специфични особености и изисквания в системите за предаване на дискретна информация.

Търсенето на оптимално решение при организацията на предаването на данни в активно адаптивните мрежи на обширни територии се сблъсква с комплекс от проблеми, един от които е осигуряване на надеждна връзка между отдалечените обекти и пункта за събиране и анализ на информацията.

Климатичните условия, мащабността, големите разстояния и човешкия фактор създават противоречиви изисквания. Проводните линии са най-надеждни, но при изграждането на дълги линии за предаване на информация стават нерентабилни, поради големите вложения, работа в труднодостъпни райони и честите прекъсвания заради кражби.

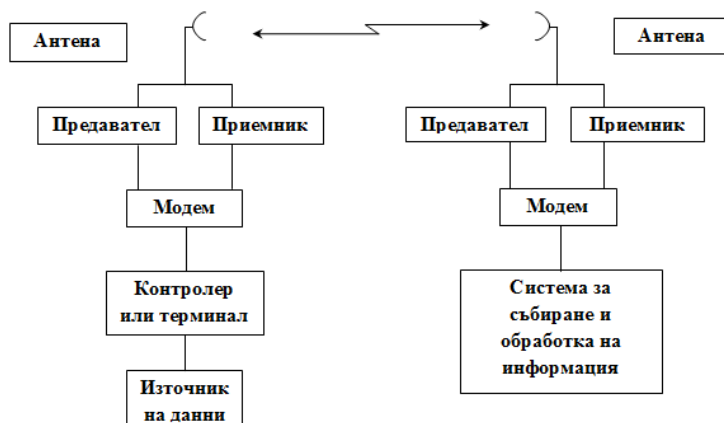
Ето защо построяването на разпределени мрежи за телеметрия и управление на основата на радиовръзки често се оказва единственото приемливо решение.

Значителна част от тези радиомрежи са предназначени като основно или резервно средство за функциониране на критично важна инфраструктура, спирането на работата на която може да доведе до сериозни аварии и катастрофи.

Областите за използване на технологичните радиомрежи за обмен на данни се определят от основните оперативно-технически възможности и предимства: надеждност, голяма оперативна зона за работа, относително малко време за достъп до канала за предаване на данни, висока безопасност на данните, относително ниска стойност на експлоатация, независимост от външна инфраструктура за връзка, простота при преместване в нов район.

3.2 Обзор и анализ на съществуващите решения на модеми с честотна манипулация.

Структурната схема на типова радиомрежа за обмен на данни и информация е представена на фиг. 3.1.



Фиг. 3.1
Структурна схема
на радиомрежа за
обмен на данни и
информация

Създадената радиомрежа за обмен на данни, работеща по определен протокол изключва флуктуации на информационния поток, способни да попречат на нейната функционалност и поддържа комуникацията на отдалечени устройства и ползватели в различни режими на работа.

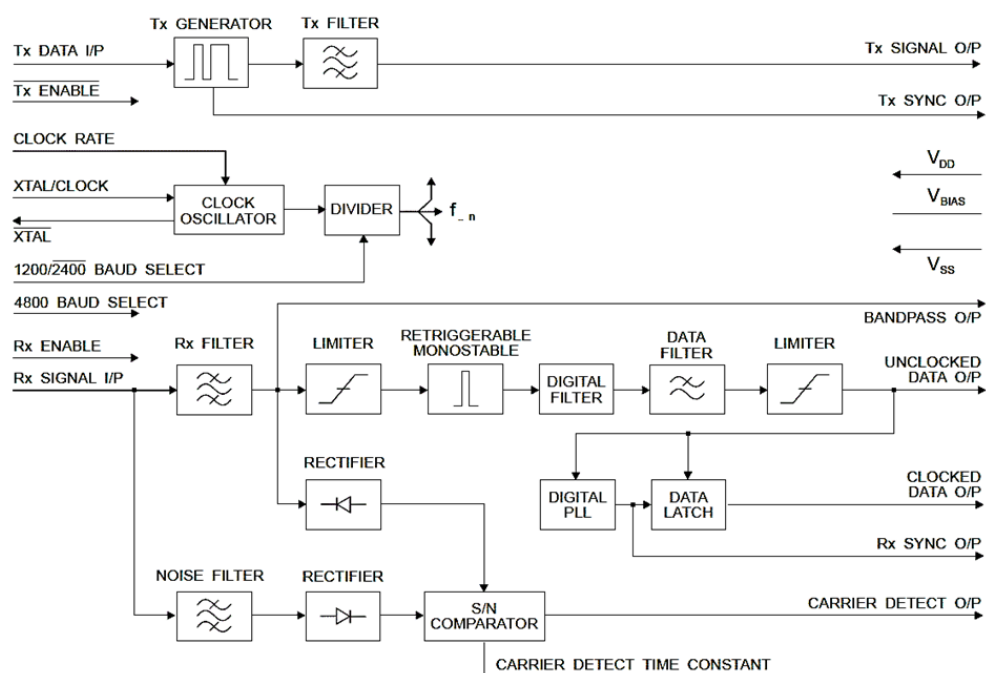
Най-висока надеждност на работа се достига в системи, в които се осигурява пряка радиовидимост между обектите за безпрепятствено разпространение на сигналите от предаващата до приемната антена. В създаваните радиомрежи радиовидимостта е 30 км на открит местност и 10 км в условията на град със средна плътност на застрояване. Минималната и максимална стойност зависят от условията на местността. Осигуряването на пряка радиовидимост е относително просто за достигане в стационарните технологични радиомрежи, но е практически невъзможно за подвижни радиомрежи, които постоянно променят своето местоположение. Във връзка с това при създаване на подвижни радиомрежи се използва специално радиотехническо оборудване, съществено отличаващо се от използваното в стационарните радиомрежи.

В състава на стационарните технологически радиомрежи за обмен на данни се използват различни модели радиомодеми, осигуряващи работа в режим „точка-много точки“. За разлика от подвижните радиомрежи, при стационарните радиомрежи позицията на оборудването остава без промяна за целия период на работа и с минимално изменение в условията на приемане на радиосигнала.

3.3 Избор и анализ на подходяща структурна постановка, съобразена със специфичните изисквания, поставени при изграждането на Smart Grid комуникационни системи за обмен на телеметрична информация чрез използване на радиомодеми

Реализирането на радиомрежата за обмен на данни ще бъде извършено на базата на модула FX469 на фирма "CML", която представлява еднокристална CMOS микросхема на дуплексен честотно манипулиран модем с избираема скорост 1200, 2400 или 4800 bd/s. Честотите на логическите "1" и "0" са съответно 1200/1800; 1200/2400; 2400/4800 Hz. За осигуряване на непрекъснатост на фазата, сигналите "1" и "0" се съединяват в точката на прехода на нула. Скоростта на предаване на данни, честотите на предаване и честотите за синхронизация се задават посредством честотата на опорен генератор (1,008 MHz или 4,032 MHz). Предавателя и приемника функционират абсолютно независимо, включвайки индивидуалната функция на включване на понижено потребление.

В интегралната схема има вътрешна схема за откриване на носеща и възстановяване на тактовите импулси при приемане. Канала на приемане, на предаване и за откриване на носещата съдържат предварителни филтри за формиране на оптимален сигнал.

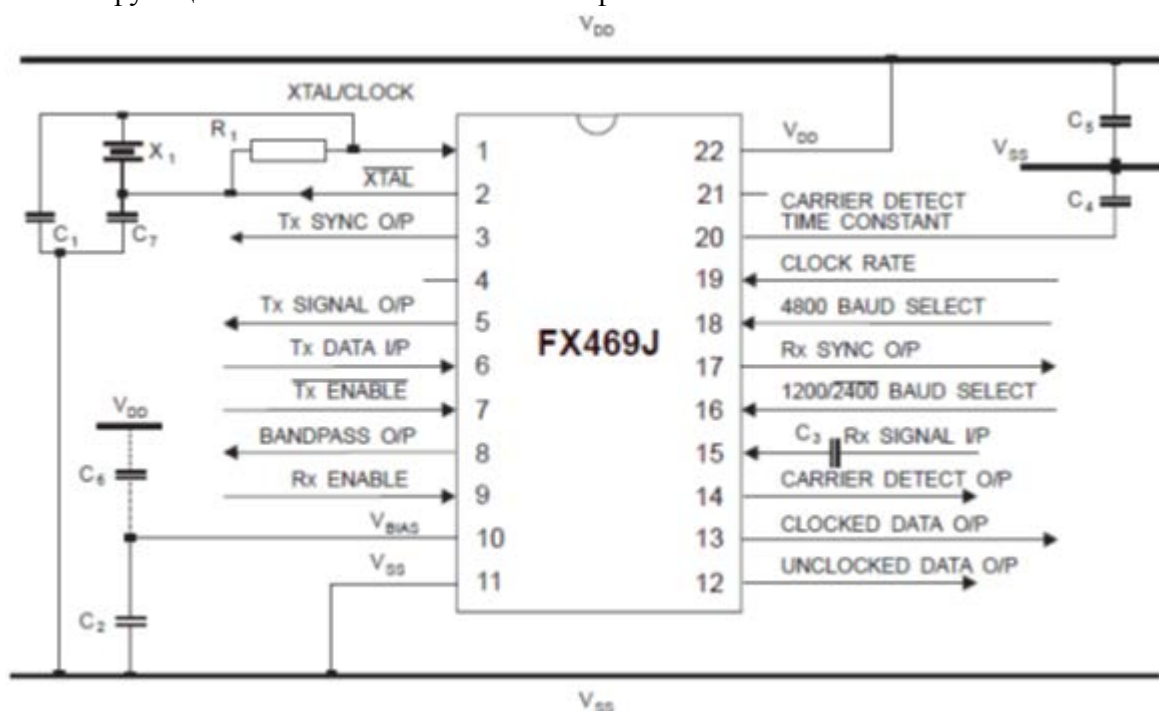


Фиг. 3.4
Структурна
схема на
FX469

Специализирания модул FX469 има голяма чувствителност и добър коефициент на еднобитови грешки при лоши условия на преминаване на сигнала. Времеконстантата за откриване на носещата се задава с външни кондензатори, чиито параметри се определят изхождайки от способността за най-голяма работоспособност при наличие на големи шумове. Структурната схема на FX469 е показана на фиг.3.4

Специализирания модул FX469 представлява модулатор и демодулатор на цифрови сигнали. Нискочестотният изход се свързва към входа на предавателя, а нискочестотния вход към изхода на приемника. Когато от асинхронния, сериен интерфейс RS232C на КС (микроконтролер) постъпят сигналите Tx на изхода на ИС се получава честотно манипулиран нискочестотен сигнал. В обратна посока когато приемникът получи честотно манипулиран сигнал след съответната обработка на изхода Rx се генерират логически сигнали, постъпващи в асинхронния сериен интерфейс RS232C.

Важно е да се отбележи, че FX469 не се интересува от използвания от микроконтролерите приложен софтуер, а зависи само от начина на конфигуриране за да прочете дадена информация в определеното време и с необходимата скорост, като неговата функционална схема е показана на фиг. 3.5.



Фиг. 3.5 Функционална схема на FX469

3.4 Проектиране на блокова и принципна схема на микропроцесорна система за обмен на данни на базата на дуплексен, честотно манипулиран модем, модул FX469 на фирмата CML Semiconductor, за обмен на телеметрична информация, отговарящ на изискванията на Smart Grid комуникационните системи

За реализирането на микропроцесорната система ще използваме микроконтролер AT8051 на фирма Atmel AT89C2051; сензори за измерване на режимните параметри на



Фиг. 3.10 Структурна схема на свързване на модема с микропроцесорната система

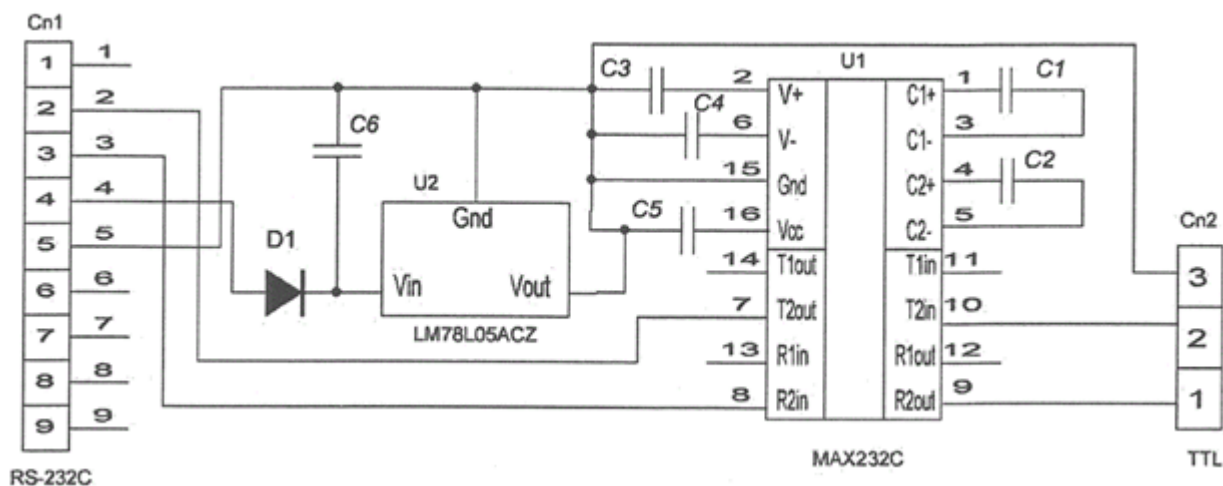
електрическата мрежа; Motorola MC14489B LED дисплей. Микроконтролера създава конструкция на данни, състояща се от преамбюл, "синхронизираща дума" и данните от сензора. На фиг. 3.10 е показана структурна схема на свързване на модема с микропроцесорната система.

Цифровите входно/изходни портове на FX469 са с TTL нива и имат нисък коефициент на натоварване, което налага тяхното буфериране, а за свързването им към асинхронния сериен интерфейс RS232C е необходимо нивата да се преобразуват спрямо изискванията на този интерфейс, посредством използването на някой от широко разпространените за тази цел буферни схеми от типа на MC1488, MC1489 или навлезлия широко в практиката интерфейсен преобразувател на фирмата Maxim - MAX232 (MAX3110 и MAX3111).

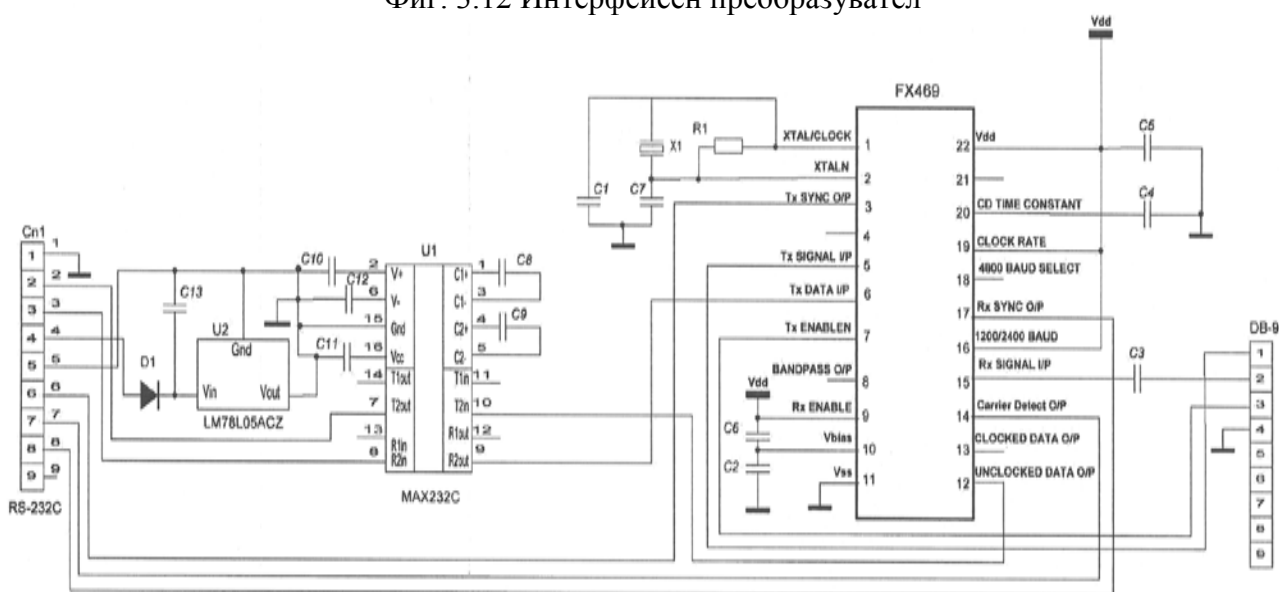
Интерфейсния преобразувател представен на фиг. 3.12 е разчетен за напрежение 5V и има вграден удвоител и инвертор на напрежение за получаване на напрежение 10V, необходимо за работата със сигнали за RS-232. За работа на микросхемата са необходими 4 външни кондензатора (C_1 , C_2 , C_3 ; C_4) с големина 0.1 μ F.

Захранващото напрежение 5V се създава от маломощен стабилизатор на напрежение LM78L05 (U_2), чийто вход е включен към кондензатор C_6 . Кондензатор C_6 се зарежда през диод от сигнал Data Terminal Ready (DTR, четвъртият пин на RS-232).

Принципна схема на дуплексния, честотно манипулиран модем изграден на базата на специализирания модул FX469 е представена на Фиг. 3.13.

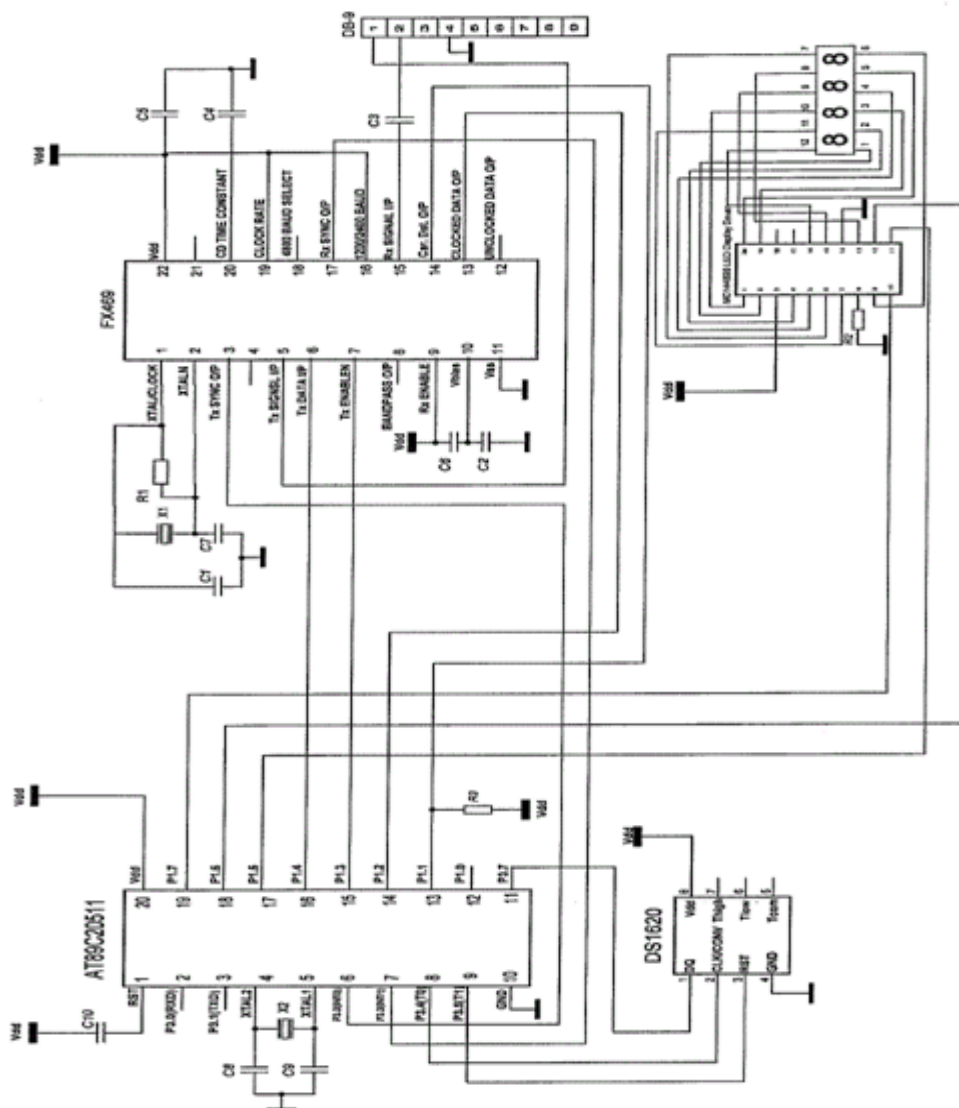


Фиг. 3.12 Интерфейсен преобразувател



Фиг. 3.13. Принципна схема на дуплексния, честотно манипулиран модем изграден на базата на специализирания модул FX469

На фиг. 3.16 е представена принципната схема на микропроцесорната система, изградена на базата на едночиповия микроконтролер AT89C2051, LED индикация и дуплексния, честотно манипулиран модем изграден на базата на специализирания модул FX469.



Фиг. 3.16 Принципна схема на микропроцесорната система, изградена на базата на микроконтролера AT89C2051

Търсенето на оптимално решение при организацията на комуникацията в активно адаптивните мрежи на обширни територии се сблъсква с комплекс от проблеми, един от които е осигуряване на надеждна връзка между отдалечените обекти и пункта за събиране и анализ на информацията.

Климатичните условия, мащабността, големите разстояния и човешкият фактор създават противоречиви изисквания. Проводните линии са най-надеждни, но при изграждането на дълги линии за предаване на информация стават нерентабилни, поради големите вложения, работа в труднодостъпни райони и честите прекъсвания заради кражби. Ето защо построяването на разпределени мрежи за телеметрия и управление на основата на радиовръзки често се оказва единственото приемливо решение.

Проектираният честотно манипулиран модем решава комплекс от фундаментални задачи, свързани с организация и наблюдение на състоянието и информационно осигуряване в активно адаптивните мрежи при условия, когато използването на други средства за връзка е невъзможно или нецелесъобразно.

3.3 Изводи и заключения по глава трета:

- Проектирана е блокова и принципна схема на дуплексен честотно манипулиран модем;
- Представена е структурна схема на свързване на модема с компютърна система;
- Изградена е схема за управление при предаване и приемане на данни от микроконтролера;
- Проектираният честотно манипулиран модем решава комплекс от фундаментални задачи, свързани с организация и наблюдение на състоянието и информационно осигуряване в активно адаптивните мрежи при условия, когато използването на други средства за връзка е невъзможно или нецелесъобразно.

Глава четвърта

4. ИЗГРАЖДАНЕ НА КОМУНИКАЦИОННА СИСТЕМА ЗА ОБМЕН НА ДАННИ В SMART GRID ПО СТАНДАРТ IEEE 802.11. СЪЗДАВАНЕ НА МОДЕЛ В СРЕДА НА MATLAB/SIMULINK НА MIMO КАНАЛА НА IEEE802.11N В АКТИВНО АДАПТИВНАТА МРЕЖА

Целта в четвърта глава е да се изгради комуникационна система за обмен на данни в Smart Grid по стандарт IEEE 802.11. Да се създаде симулационен модел в среда на Matlab/Simulink на MIMO канала на IEEE802.11n в активно адаптивната мрежа.

4.1 Протоколни и архитектурни решения за изграждане на комуникациите в активно адаптивните мрежи.

Интелигентната активно адаптивна мрежа представлява разпределителна мрежа, която съчетава в себе си комплексни инструменти за контрол и наблюдение, информационни технологии и средства за комуникация, които осигуряват по-голямата ѝ производителност, като позволяват предоставянето на населението на енергия от най-високо качество. Значението на безжичните комуникационни технологии при изграждането на комуникационната мрежа в Smart Grid системите непрекъснато нараства, което се обуславя от разширения кръг възможности предоставени от тях. През последните години първоначалната им специализация в предаването на неголеми пакети от данни се разшири с изпълнението на широк спектър от мониторингови, регулиращи и управляващи функции.

802.11 е набор от безжични стандарти IEEE, които регулират метода на предаване в безжичните мрежи. IEEE 802.11 е постоянно развиващо се семейство от спецификации, които изчерпателно описват принципите и параметрите на функционирането на безжичните мрежи. Има няколко разновидности на WLAN мрежи, които се различават по отношение на организацията на сигнала, скоростта на пренос на данни, радиуса на покритие на мрежата, както и характеристиките на радиопредавателите и приемниците.

Стандартът IEEE 802.11 работи в съответствие с двете долни нива на модела OSI - физическо и канално ниво. На физическо ниво са отделени общо три метода за предаване на данни, единият от които е в инфрачервения диапазон, а другите два са радиочастотни, работещи в 2.4 GHz и 5 GHz честотен обхват. Стандартът IEEE 802.11 определя два режима на работа на безжичната мрежа - режим точка-точка (Ad-hoc) и режим клиент/сървър.

4.2 Изграждане на комуникационна система за обмен на данни по стандарт IEEE 802.11 в Smart Grid.

При създаването на комуникационен канал за обмен на данни посредством използването на стандарт IEEE 802.11 е необходимо да се отчетат физическите фактори,

оказващи влияние върху разпространението на сигнала. Параметрите, имащи значение за разпространението на сигнала са следните:

1. Мощността на предаване;
2. Загуби по кабела между предавател и антена;
3. Усилване на предавателната антена;
4. Местоположение на двете антени – разстояние, препятствия;
5. Усилване на приемащата антена;
6. Загуби по кабела между антена и приемник;
7. Чувствителност на приемника.

При изграждане на комуникационен канал за обмен на данни посредством използването на стандарт IEEE 802.11 в три обекта на присъединителните клонове на електрическата мрежа за НН с включени към тях децентрализирани електроенергийни източници (ДЕИ) е необходимо да се отчетат всички параметри влияещи на разпространението на сигнала.

Изборът на правилен честотен канал се явява една от ключовите задачи при проектиране на WiFi мрежи от стандарта IEEE 802.11n.

Честотни полоси и канали в 2.4GHz диапазон. В тази честотна полоса има само 3 непрепокриващи се канала – 1, 6 и 11 и ако два от тях се обединят в канал 40MHz за да се ускори двукратно преноса на данни, остава само един свободен канал 20MHz. При такива ограничения е невъзможно да се организира многопотребителска мрежа с голям брой точки за достъп. Друг проблем който възниква при изследването на разрешения радиочестотен диапазон в зоната в която се намират присъединителните клонове за НН е интерференция на WiFi сигналите на един канал.

Причина за това е ограничения брой канали в диапазона 2.4GHz, при което точките за достъп са принудени да работят на едни и същи радиоканали в непосредствена близост една до друга. Това значително влошава характеристиките на трасето и пропускателната способност, като в определени времеви интервали влошаването на качеството на сигнала е значително. Към този проблем се добавят смущенията от устройства които работят в същия диапазон като DECT телефони, микровълнови печки, аналогови камери и др. Поради тези причини се премина към използването на 5GHz диапазон, където има много повече канали, чрез обединението на които става възможно изграждането на мрежи с висока скорост и голямо покритие. Максималното използване на спектъра от 5GHz е един от ключовите фактори за реализирането на решения с високи скорости на големи разстояния. В този диапазон са достъпни значително повече непрепокриващи се честотни канали, което позволява проектирането на по-плътни мрежи или използването на отдалечени канали за намаляване на междуканалната интерференция.

При изграждането на комуникационна система за обмен на данни е избрано оборудване, което отговаря на поставените изисквания: Ubiquiti Rocket M5, Ubiquiti NanoStation M5, Ubiquiti RocketDish 5G-30, Ubiquiti AirMax Sector Titanium 5G Mini AM-M-V5G-Ti.

За повишаване надеждността и производителността на връзката изградена при външни условия се използва Airmax TDMA System.

4.2.1 Изчисляване на параметрите на линковото радиотрасе

Определяне на максималното разстояние за изграждане на канала за пренос на данни, като се вземат техническите характеристики на избраното оборудване. За тази цел използваме съотношенията за изходната мощност от антената на дадената станция, нивото на приетия входен сигнал до входа на приемника, оперативният презапас и затихването в средата на разпространение на сигнала.

$$EIRP = TX \text{ Power} - Coax \text{ Cable Loss} + TX \text{ Antenna Gain} \quad (4.1)$$

$$RX \text{ Signal} = EIRP - FSL + RX \text{ Antenna Gain} - Coax \text{ Cable Loss} \quad (4.2)$$

$$\text{SOM} = \text{Rx signal level} - \text{Rx sensitivity} \quad (4.3)$$

$$\text{FSL} = 36,6 + 20\log F + 20\log D \quad (4.4)$$

В резултат на направените изчисления максималните разстояния за комуникация с избраното оборудване са следните:

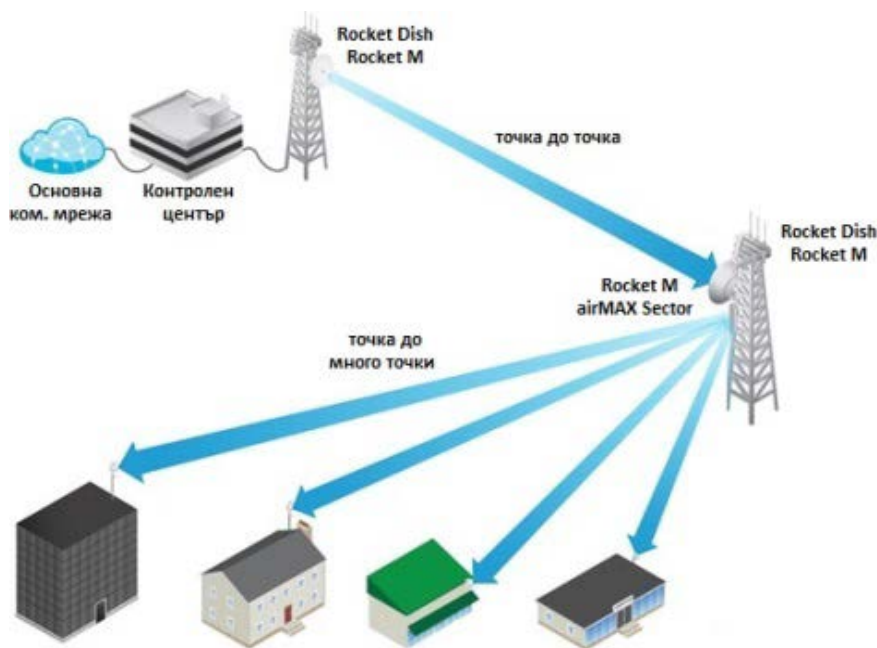
Таблица 4.2

Параметри	Обект 1	Обект 2
Безжични карти		
Мощност на предавателя	20 dBm	20 dBm
Чувствителност	-74 dBm	-74 dBm
Анени		
Усилване	30 dBi	30 dBi
Връзки		
Разстояние	33,4 km	
Честота	5660 MHz	

Таблица 4.3

Параметри	Обект 2	Обект 3
Безжични карти		
Мощност на предавателя	20 dBm	20 dBm
Чувствителност	-86 dBm	-86 dBm
Анени		
Усилване	16 dBi	16 dBi
Връзки		
Разстояние	5,20 km	
Честота	5785 MHz	

При разстояния в зоната на пряка видимост между трите присъединителни клона на електрическата мрежа за НН : съответно от обект 1 до обект 2 – 29,7км, а от обект 2 до обект 3 – 3,5км получените резултати за максималното отстояние между обектите при изграждане на канала за пренос на данни напълно удовлетворяват поставената задача. Принципно схема на изграденото безжично трасе е показана на фиг. 4.9. Предложеното решение включва опорна комуникационна магистрала на основата на изградено оптично трасе, безжична (point to point) връзка, безжична (point to multipoint) връзка. Секторната антена PtMP позволява осъществяване на комуникация с голям брой потребители, като основното и предимство е регулируемата ширина на диаграмата на насоченост във вертикалната и хоризонталната плоскости. Това позволява използването на вариативност по отношение на броя на абонатите, далечина на свързката и скорост на предадената информация.



Фиг.4.9. Изградена комуникационна система с избраното оборудване

След установяване на връзка между трите присъединителни клона на електрическата мрежа за НН беше направена оптимизация на настройките на различните параметри на комуникационното оборудване. Изградената комуникационна система показва много добри експлоатационни характеристики при различни атмосферни условия и неблагоприятни влияния от природни и промишлени източници. В резултат на извършените тестове са получени следните обобщени резултати:

Таблица 4.4

Параметри	Обект 1	Обект 2
Безжични карти		
Мощност на предавателя	20 dBm	20 dBm
Чувствителност	-74 dBm	-74 dBm
Анени		
Усилване	30 dBi	30 dBi
Връзки		
Разстояние	29,7 km	
Честота	5660 MHz	
Скорост на предаване	57÷75 Mbits	
Ниво на сигнала	-53 ÷ -55 dBm	-53 ÷ -55 dBm

Таблица 4.5

Параметри	Обект 2	Обект 3
Безжични карти		
Мощност на предавателя	20 dBm	20 dBm
Чувствителност	-86 dBm	-86 dBm
Анени		
Усилване	16 dBi	16 dBi
Връзки		
Разстояние	3,5 km	
Честота	5785 MHz	
Скорост на предаване	57÷73 Mbits	
Ниво на сигнала	-55 ÷ -57 dBm	-55 ÷ -57 dBm

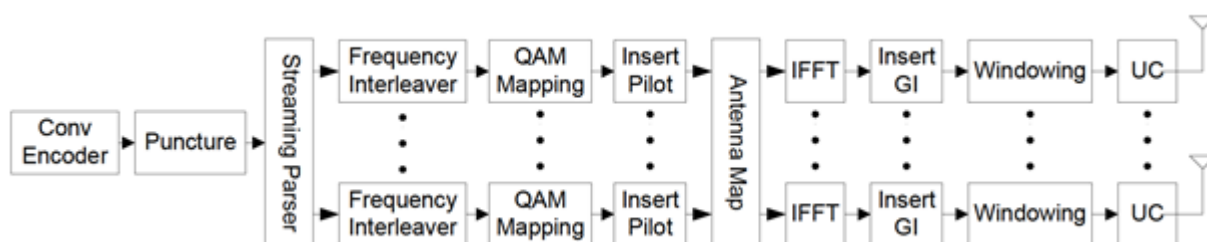
При изграждането на гъвкава и устойчива интелигентна мрежа, изискванията за информационен обмен стават все по-високи, като комуникационната технология е предпоставка и гаранция за реализация на информативна, автоматична и интерактивна интелигентна мрежа. Представените резултати при изграждането на безжичното трасе са оптималните, като са постигнати чрез промяна на настройките на оборудването до достигането на подходящи стойности на затихване, ниво на сигнала и скорост на предаване на информацията. Достигнатите скорости за предаване на данни надхвърлят настоящите изисквания в активно адаптивните мрежи, като напълно да удовлетворят изискванията за обмен на информация при съвременните и бъдещи стратегии за изграждане на интелигентните мрежи.

Безжичните мрежи за обмен на данни в Smart Grid са създадени за решаване на комплекс от фундаментални задачи, свързани с организация и наблюдение на състоянието, оперативно-диспечерско управление и информационно осигуряване при условия, когато използването на други средства за връзка е невъзможно или нецелесъобразно.

Внедряването на изградената безжична мрежа може да спести значително количество средства, тъй като няма нужда от допълнителни кабели или мрежови комутатори. Добавянето на нови потребители се свежда до инсталирането на безжичен приемопредавател и включването на системата в мрежата. Тази мрежа е предназначена да работи като основно или резервно средство за функциониране на важна инфраструктура, спирането на работата на която може да доведе до сериозни аварии и катастрофи.

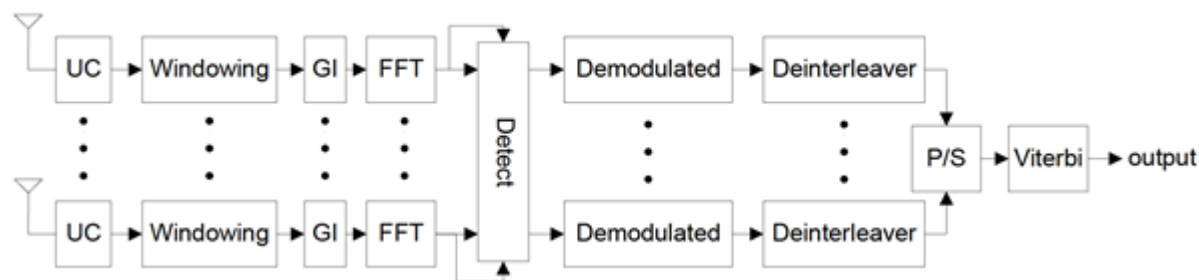
4.3 Създаване на модел в среда на Matlab/Simulink на MIMO канала на IEEE802.11n в активно адаптивната мрежа

Блокова схема на предавателя на IEEE 802.11n



Фиг.4.17 Блокова схема на предавателя на IEEE 802.11n

Блокова схема на приемника на IEEE 802.11n



Фиг.4.18 Блокова схема на приемника на IEEE 802.11n

4.3.1 Симулационен модел на IEEE 802.11n

Binary Data source - Моделът използва произволен генератор за получаване на случайна двоична последователност (битове 0 и 1), а след това има буфер, който формира тези битове в пакети.

HT preamble - Тъй като този модел е HT STA, неговата рамка, която използва защита L-SIG TXOP, се състои от две основни части, които са начална част на съобщението и последователност от данни.

Modulator - включва функцията за уплътнение на импулсните сигнали и функцията FEC, която се състои от конволуционно кодиране. Тя също така създава OFDM символи, като възстановява сигнала.

Assemble OFDM frames - Тъй като безжичната комуникация непрекъснато се развива, нарастващите скорости за предаване на данни изискват широка честотна лента. OFDM може драстично да увеличи ефективността на честотната лента. Тази модулация предотвратява междусимволната интерференция и фединга. Модулацията на подносещата честота дава възможност на системата да постигне най-висока скорост при предаване на данните. Тази част отговаря за обединението на модулирания сигнал и на преамбюла заедно, така, че да се създават 802.11n OFDM кадри.

STBC - Целта на пространствено времеово блочно кодиране е да постигне най-голямо увеличение на пространственото разнасяне, най-голяма ефективност от кодирането и възможно най-голямата пропускателна способност. Чрез кодирането се пренасят различни копия на потока от данни през различни антени, за да увеличи надеждността при предаването на данни.

MIMO Set – това е техника, която използва няколко антенни елементи за пространствено оформяне на излъчваната електромагнитна вълна, чрез промяна на амплитудата и фазата и от всяка предавателна антена.

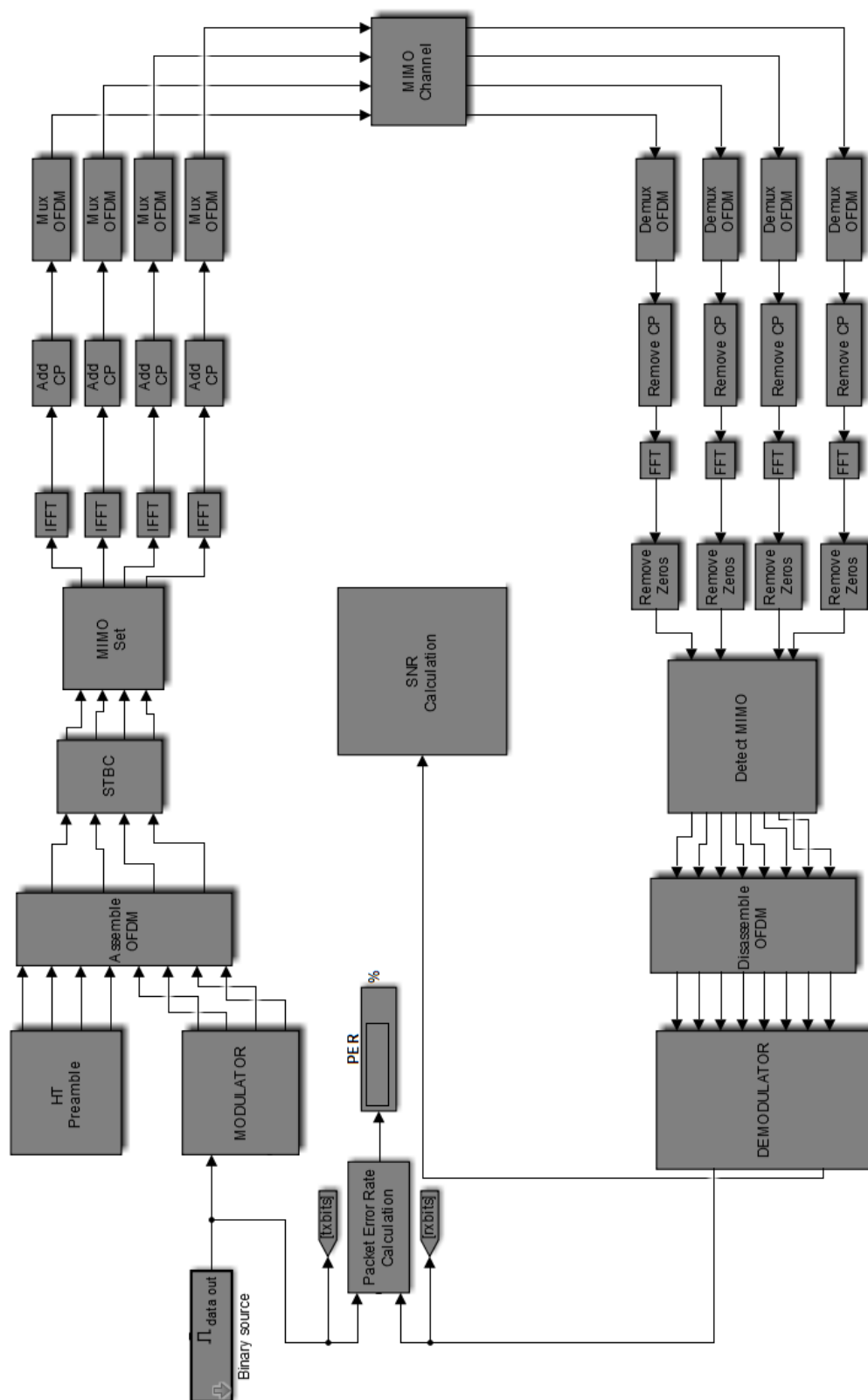
IFFT - OFDM използва инверсна бърза Фурие трансформация (IFFT) и FFT, които се използват в OFDM за модулация и демодулация, за да се увеличи скоростта. Тъй като IFFT и FFT са базирани на дискретни преобразувания на Фурие (DFT), те лесно се реализират при DSP.

Add Cyclic prefix - е вид разнасяне на предаваните сигнали. Това е техника за формиране на сигнала, комбинирана със спецификацията 802.11n, която разпространява пространствените потоци чрез множество антени, като използва изпращане на един и същи сигнал с различна фаза.

Multiplex OFDM frames - Преформира OFDM кадрите от $x*y$ до $(x*y)*n$, за да са готови за предаване през комуникационните канали.

MIMO channel - Това е модел на комуникационни канали, който се използва за обозначаване на група канали с висока пропускателна способност. Тези канали са предназначени за предаване по 2GHz и 5GHz честотни ленти и са с широк обхват на приложение. Различната среда на приложение съответства на различен вид канал.

MIMO Detection - Детектирането на MIMO се отнася до процеса на приемане на предаваните данни, изпратени с помощта на SDM (пространствено уплътнение), от приетия сигнален вектор. В тази част предаваните потоци данни се разделят, като междувременно се извършва честотна корекция на каналите. Поради използването на OFDM, приемането на всеки MIMO OFDM канал трябва да бъде изпълнено поотделно.

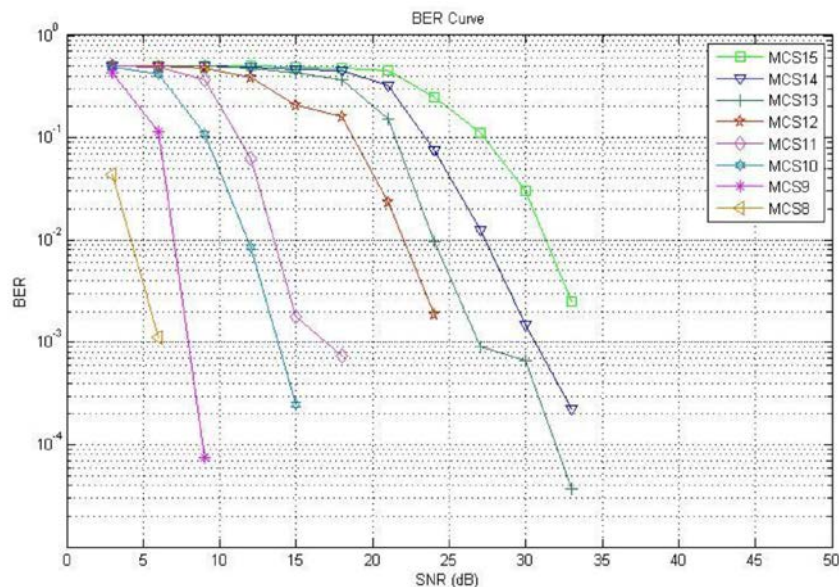


Фиг. 4.19 Симулационен модел на IEEE 802.11n

Резултати от симулацията

Характеристиката процентна битова грешка (BER) на преносната система има много голямо значение, като позволява да се сравнява ефективността на различни модели. Тя се представя във вид на двумерна графика. По ординатата е нормализираното отношение сигнал/шум (SNR), показано в децибели (dB). Колкото стойността на BER е по-висока, толкова повече битове ще бъдат погрешно приети. В най-лошият случай ако процентната битова грешка е 50%, то канала е безполезен. Повечето комуникационни системи изискват BER с няколко порядъка по-малко. Дори BER от 1% се счита за много високо ниво. За да се изчисли BER в системата IEEE802.11n, е необходимо да се получи сумата от грешните битове на всеки SNR. Така че, ако се изисква резултат от BER по-нисък от 10^{-5} , това ще изисква по-дълго време за симулация. Векторът по оста X ще съдържа SNR стойности изразени в dB, докато векторът по Y-оста показва BER.

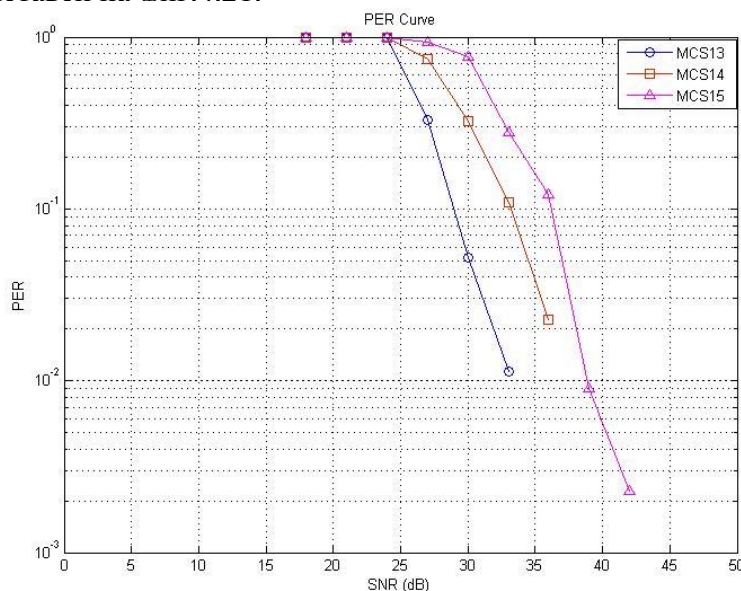
Когато се съберат достатъчно симулационни данни, се изчертава кривата на BER като функция на SNR.



Фиг.4.20 BER при стойности на MSC от 8-15

Характеристиката процентна пакетна грешка (PER) е броят на неправилно получените пакети данни, който е разделен на общия брой получени пакети. Дори ако в пакета има само един грешен бит, полученият пакет се смята за грешен. Въпреки това, независимо колко грешни бита има в пакета, той се третира само като един грешен пакет. Необходимо да се изчисли сумата от грешните пакети във всеки SNR и да се раздели на общия брой на получените пакети във всеки SNR.

От SNR от 18 dB до SNR от 42 dB, със стъпка 3 dB, резултатът на PER на MCS13, 14 и 15 е представен на фиг.4.21.



Фиг.4.21 PER при стойности на MSC от 13-15

При промяна на настройките се тестват повечето функции на модела. Ако MCS се променя на по-висока скорост на предаване на данните със същите предавателни антени, характеристиките на PER, така и на BER ще бъдат повлияни. Модулацията заедно с многолъчевото предаване подобрява стойностите на BER и PER.

4.4 Изводи и заключения по глава четвърта:

- Извършен е анализ и избор на протоколни и архитектурни решения за изграждане на безжични комуникации в активно адаптивните мрежи;
- Изградена е комуникационна система за обмен на данни по протокол IEEE 802.11n;
- Получени са оптимални резултати при изграждането на безжичното трасе, чрез промяна на настройките на комуникационното оборудване до достигането на подходящи стойности на затихване, ниво на сигнала и скорост на предаване на информацията.
- Комуникационната система за обмен на данни е предназначена да работи като основно или резервно средство за комуникация в активно адаптивната мрежова инфраструктура.
- Изграден е симулационен модел на MIMO IEEE 802.11n в среда на Simulink;
- Получени, представени и анализирани са характеристиките процентна битова грешка (BER) и процентна пакетна грешка (PER) на преносната система след обобщаване на достатъчно пакети симулационни данни.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Най-съществените научно-приложни и приложни приноси, постигнати в дисертационния труд, са следните:

1. Обзор и критичен анализ на съвременните методи и средства за изграждане на комуникационни канали в активно адаптивните електрически мрежи. Извършено е структуриране и изследване на интелигентната мрежова комуникационна инфраструктура.
2. Извършено е изследване и анализ на чувствителността на най-често използваните категории кабели с усукана двойка проводници към външен източник на електромагнитна интерференция. Разработени са програмни модели в среда на Matlab, които дават възможност да се оценят и анализират влиянията на NEXT, FEXT и ЕМИ на кабелите с усукани двойки проводници. Получените резултати от измерванията и симулациите могат да се използват при полагане на силови и комуникационни кабели в близки монтажни канали при изграждане на комуникационни мрежи.
3. Проектирана и изследвана е блоковата и принципна схема на дуплексен честотно манипулиран модем, за обмен на телеметрична информация в Smart Grid комуникационните системи. Проектираният модем решава комплекс от задачи за информационно осигуряване при условия, когато използването на други средства за връзка е невъзможно или нецелесъобразно.
4. Изградена и изследвана е комуникационна система за обмен на данни в Smart Grid по протокол IEEE 802.11n, между присъединителните клонове на електрическата мрежа НН. Тази система е предназначена да работи като основно или резервно средство за комуникация в активно адаптивната мрежова инфраструктура. Създаден е симулационен модел на IEEE 802.11n в среда на Matlab/Simulink. Извършено е моделиране и анализ на MIMO канала при различни стойности на модулацията, кодирането и броя на пространствените канали.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Няголов, Д. А., Желязков, Ю. К., Спирова Ц. В. "Методи и средства за обмен на информация в активно адаптивните електрически мрежи", Известия на Съюза на Учените - Сливен, том 29, брой 3, стр. 23-26, 2015
2. Няголов, Д. А., Желязков, Ю. К. "Изграждане на комуникационен канал за пренос и обмен на данни по протокол IEEE 802.11 в присъединителните възли на електрическата мрежа за НН с включени към тях ДЕИ", Известия на ТУ - Сливен, том 4, брой 4, стр. 46-50, 2015
3. Желязков, Ю. К. "Методи и средства за изграждане и управление на процесите по производство и разход на енергия с активното взаимодействие между традиционните и децентрализирани електроенергийни източници в активно адаптивните електрически мрежи", Известия на ТУ - Сливен, брой 2, стр. 17-23, 2016
4. Няголов, Д. А., Желязков Ю. К. "Моделиране и изследване на комуникационна инфраструктура базирана на пасивна оптична мрежа при изграждане на активно адаптивните електрически мрежи", Известия на Съюза на Учените - Сливен, том 32, стр. 7-10, 2017
5. Няголов, Д. А., Желязков Ю. К. "Проектиране и изследване на дуплексен, честотно манипулиран модем, изграден на базата на FX469, за обмен на телеметрична информация в комуникационните системи ", Известия на Съюза на Учените - Сливен, том 33, стр. 24-28, 2018
6. Желязков Ю. К. "Изследване и анализ на влиянието на електромагнитната интерференция на предавателните параметри на кабели с усукани двойки проводници използвани при изграждането на комуникационните мрежи" , Известия на Съюза на Учените - Сливен, том 34, стр. 30-34, 2019

PROCESSING AND EXCHANGE OF INFORMATION AT CONSTRUCTION OF SMART GRID NETWORKS

ABSTRACT

In the dissertation are built, modeled and studied a certain class of communication systems in Smart Grid networks, in different transmission media between the objects of communication and variability of the equipment, in order to determine the most suitable for the specific application in a real work environment.

An overview and critical analysis of modern methods and tools for building communication channels in active-adaptive electrical networks was performed. The structuring and research of the intelligent network communication infrastructure has been done.

It was performed study and analysis of the sensitivity of the most commonly used categories of twisted pair cables to an external source of electromagnetic interference. Software models have been developed in the Matlab environment, which make it possible to assess and analyze the effects of NEXT, FEXT and EMI on twisted pair cables. The obtained results from the measurements and simulations can be used for laying power and communication cables in nearby installation channels when building communication networks.

The block and schematic diagram of a duplex frequency shift key modem for the exchange of telemetry information in Smart Grid communication systems has been designed and studied. The designed modem solves a set of tasks for information exchange under conditions when the use of other means of communication is impossible or inexpedient.

It has been built and studied communication system for data exchange in Smart Grid according to IEEE 802.11n protocol, between the connecting branches of the LV electrical network. This system is designed to work as a primary or backup means of communication in an active-adaptive network infrastructure. An IEEE 802.11n simulation model was created in a Matlab / Simulink environment. Modeling and analysis of the MIMO channel at different values of modulation, coding and number of spatial channels was performed.