



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-СОФИЯ

**Факултет Електротехнически
Катедра Електроенергетика**

маг. инж. Викас Вишну Гайкуад

**ИНФОРМАЦИОНЕН МОДЕЛ И СИСТЕМА ЗА АДАПТИВНО
УПРАВЛЕНИЕ НА РАЗПРЕДЕЛИТЕЛНИТЕ МРЕЖИ СРЕДНО
НАПРЕЖЕНИЕ В ИНДУСТРАЛНИЯ РАЙОН НА
МАХАРАЩРА, ИНДИЯ)**

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: Електрически централи и подстанции

**Научени ръководители:
Проф. д-р Ангел Цолов
Проф. д-р Иван Ячев**

СОФИЯ, 2019 г.

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита от катедра „Електроенергетика“ на Електротехнически факултет при Технически университет – София.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 21.05.2019 год. от 13:30 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-52-04 / 21.01.2019 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р Ангел Белчев Цолов – председател
2. Доц. д-р Димо Стоилов – научен секретар
3. Проф. д-р Кирил Янев
4. Проф. д-р Георги Павлов
5. Проф. д-р Иван Миленов

Рецензенти:

1. Доц. д-р Димо Стоилов
2. Проф. д-р Иван Миленов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Електротехнически Факултет на ТУ-София, блок № 12, кабинет №. 12222.

Дисертантът е задочен докторант към катедра „Електроенергетика“ на Електротехнически факултет. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг.инж. Викас Вишну Гайкуад (Vikas Vishnu Gaykwad)

Заглавие: Информационен модел и система за адаптивно управление на разпределителните мрежи средно напрежение в индустралния район на Махаращра, Индия

Тираж: 30 бр.

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД ¹

Актуалност на дисертационния труд

Локализирането на електрическите повреди на силовите линии дава възможност да се идентифицира точното местоположение на неизправността на електропроводите след смущение. Ако мястото на повредата не може да бъде идентифицирано бързо, това може да доведе до продължително прекъсване на захранването, дори и по време на пиково натоварване. Това води до сериозни икономически загуби и поставя под въпрос надеждността на електрозахранването. Ръстът в размера и сложността на електроенергийните системи повиши важността на бързото локализиране на мястото на електрическа повреда, особено за разпределителните мрежи. Това от своя страна повиши значението на научните изследвания в тази област, привличайки широко внимание сред изследователите през последните години [1].

Голяма част от изследванията са насочени към възможностите за осигуряване на гъвкаво управление и реконфигурация на разпределителните мрежи в аварийни и следаварийни режими [2]. Допълнително се вземат мерки за повишаване на сигурността с включване на елементи на кибер сигурност, насочени към идентификация на опити за кражби, умишлено нанасяне на повреди и изобщо всички външни фактори от субективен характер. Всички съвременни средства за повишаване на надеждността на разпределителните мрежи са свързани със създаване на база данни за нормалните и аварийни режими на съоръженията. Въвеждането на SCADA дава възможност за реална реализация на дефинираните характеристики на smart grid [3]. Това от своя страна дава възможност за развитието на много нови технологии по отношение на телеизмерване, телеуправление, реконфигурация на мрежата, дистанционно управление на разпределението, обвързано до голяма степен и с новите икономически изисквания [4].

Откриването на повреда в даден електропровод и локализацията и се осъществява за голям период от време. Традиционно в преносните мрежи откриването на мястото на повредата е базирано на методите за изчисляване на импеданса [5].

Използваният метод с трансформация на отразените вълни е трудно приложим за разпределителните мрежи [6]. В този случай може да се приложи спектрален анализ с изкуствено вмъкване на високочестотен сигнал, като анализът може да бъде разделен на две части- сигнал между подстанцията и мястото на повредата и отразен сигнал от мрежовите възли към подстанцията [7]. Точната идентификация на тези два компонента и специфичен алгоритъм за анализ на интерференцията между тях дава възможност да се определи точното място на повредата. Методът отново е приложим главно за преносните мрежи. Дори използването на IED или PMUs (Synchrophasor measure units) и бързи комуникационни връзки е практически неприложимо за конкретната цел. Практически събраната от тях информация за аварията и точните стойности на

¹ Информацията по тази част е с препоръчителен обем 2-3 страници

електрическите параметри за всяка една авария могат да се използват само като информация за създаване на база данни- основа за прогнозиране при следващи събития [9], [10].

Като се има предвид режимът на работа на разпределителните мрежи 22kV по отношение на неутралата, по голяма част от доказаните и реализирани теоретични средства за откриване мястото на повредата в преносните мрежи или неразклонени хранващи линии са неприложими [8].

Надеждност и непрекъснатост на електрозахранването може да се осигури чрез:

- Голям брой управляеми участъци;

Разпределителната мрежа се разделя на голям брой участъци чрез секционни разединители.

Предимствата са:

- По бързо и лесно локализиране на авария
- При установена трайна авария ще има по малко потребители без захранване
- Внедряване на индикатори за къси и земни съединения за най-честите повреди;
- Сигурна комутационна апаратура и изправна разпределителна мрежа;
- Внедряване на комутационна апаратура с телеуправление.

За по-бързото локализиране на повредения участък може да са приложи метод за предварителна оценка на вероятната зона на повредата и адаптивност на алгоритмите в SCADA сървър за приоритети при определяне на изходната точка (с най-голямата вероятност за авария) при стартирането на процедурата за „разпитване“ на локалните устройства.

Може да се търси аналогичен подход с обучението на неврона мрежа по отношение на опресняването на предварително въведена база данни за вероятните зони в реално време. Естествено това изисква предварително въведена база данни, която е формирана от статистически анализ и математическо моделиране. Точното и бързо определяне на мястото на повредата би довело до минимална безтокова пауза, последвана естествено и от икономическа полза.

Изходните стойности на създадената вече база са определени въз основа на направените в глава 2 и глава три статистически анализ и математическо моделиране.

За да се изгради надеждна система в този случай е необходимо да се анализират възможните източници на информативни сигнали, комутационната апаратура и преносната среда и протоколите за обмен на информация, като се отчитат всички ограничителни условия за всеки един от компонентите.

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Тази дисертация има за цел да покаже възможности за автоматизирано управление на мрежа средно напрежение. Автоматизираното управление има за цел да намали времето за прекъсване след повреда в системата в рамките на

минута, необходима за изключване на повредения участък и възстановяването на захранването на мрежата. След това автоматично се изпращат по-точни данни за характера и мястото на повредата на съответната група за аварийна поддръжка.

При така поставената цел могат да бъдат формулирани следните задачи за нейното реализиране:

- 1. Статистически анализ на регистрирани повреди в последните три години на мрежа 22kV в град Roĥa. Създаване на база данни с директна връзка за тип на повредата, електрически параметри, разстояние.
- 2. Създаване на математически модел на изследвания обект в среда MATLAB-SIMULINK, с който след валидация да се определят зони на вероятност за мястото на аварията в зависимост от характера на повредата и измерените стойности на електрическите величини.
- 3. Да се разработи структура на SCADA за автоматичен контрол с използване на независим канал за връзка.
- 4 Разработване на алгоритъм за бързо локализиране на повредите с две основни подточки:
 - a. Избор на оптимален комуникационен канал;
 - b. Разработване на надежден протокол за комуникация, гарантиращ минимална грешка при максимално възможната скорост за обмен на данни.

Като обект на изследване в дисертацията се разглежда подстанция Roĥa Town в щат Махаращра, Индия. В дисертацията се разглеждат всички аспекти за средствата на бързо локализиране на аварии и възстановеното на захранването на неповредените участъци, като целта е да се минимизира времето за възстановяване в диапазон, съизмерим с този на АПВ и АВР.

Методи за изследване: Използвани са евристични методи за моделиране; методи на еволюционното моделиране и програмиране; методи на генетичното моделиране и програмиране; специални методи за оптимизация на графите. Изследванията се реализират с помощта на програмите Матлаб, Ексел, Radio Mobile и др.

Оригинален принос: Разработен е нов принцип и алгоритъм за локализация на мястото на повредата в мрежи средно напрежение. Въз основа на създадена база данни се определя най-вероятната зона за всеки тип аварии и съответно входната точка за разпитване на алгоритъма. За разлика от традиционните съвременни алгоритми времето за откриването на повредата и възстановяването на повредените участъци е сведено от 5-6 мин. до 60 сек.

Научна новост

За по-бързото локализиране на повредения участък е разработен метод за предварителна оценка на вероятната зона на повредата и адаптивност на алгоритмите в SCADA сървър за приоритети при определяне на изходната точка (с най-голямата вероятност за авария) при стартирането на процедурата

за „разпитване“ на локалните устройства. Разработен е частен протокол за обмен на информация между IED, като се гарантира изключително висока надеждност с вероятност за грешка $e \leq 10^{-6}$.

Практическа приложимост

Получените резултати на дисертационното изследване позволяват използване на ефективен метод и алгоритъм за бързо и точно локализиране на мясото на повредата и възстановяване на електрозахранването на максимален брой потребители.. Създадената методика и изчислителни процедури в MATLAB, като и разработената радиомрежа и частен протокол за комуникация с повишена надеждност позволяват на електроразпределителните предприятия не само в Индия да избират оптимален вариант за адаптивно електрозахранване на консуматорите в малки населени места. С този метод електрически мрежи Средно и Ниско напрежение могат да се реконфигурират при аварийни ситуации.

Апробация

Резултатите от изследванията на дисертационният труд са публикувани докладвани в списание Electrotechnica & Electronica E+E, Vol. 53. No 11-12/2018, pp. 279-284, ISSN 0861-4717 и на международните конференции International Journal of Computer Engineering and Applications, Volume XII, Special Issue, April 2018. ISSN 2321-3469 и International conference on High Technology for Sustainable Development (HiTECH 2018), 11-14 June 2018, Sofia, Bulgaria, DOI: 10.1109/HiTECH2018.8566258.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са три публикации. Те са в едно списание и на две конференции с международно участие, видими в SCOPUS, IEEE Xplore. Една от тях е самостоятелна.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд съдържа 172 страници текст, фигури, таблици и приложения от 4 страници, оформено в тялото на дисертацията. Състои се от 4 глави, справка за научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд, както и списък на публикациите на автора и списък на използваната литература. Цитирани са 75 литературни източника, от които 52 на латиница. Работата включва общо 77 фигури и 23 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1. Състояние на проблема

1.1 Определяне на проблема

Резултатите от литературното проучване позволяват да се направи извод, че различните използвани средства за откриване мястото на повредата в разпределителните мрежи като споменатите по-горе както и нови хибридни подходи редуцират времето до не по-малко от 5 до 10 минути. В дисертационния труд се обработват данни на реалната мрежа на град Roha с напрежение 22kV. Необходимо е да се анализират данните за аварии от предходни години, като се отчетат електрическите параметри (напрежение, ток и мощност преди и след аварията, както и минималното и максимално време за възстановяване на работоспособността на мрежата). Този анализ може да се използва както за създаване на първоначална база данни за типични аварии, така и за средство за валидиране и верифициране на резултатите от математическо моделиране. За да се обогати базата данни е необходимо да се направи математически модел на дадения обект (в среда NEPLAN или MATLAB SIMULINK), с който да се симулират допълнително ситуации за допълване на базата данни.

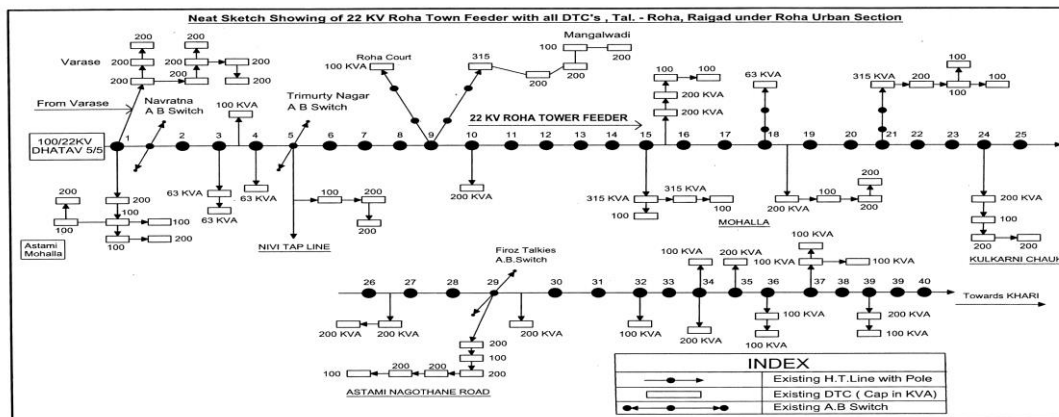
1.2 Цел и задачи на тезата

Тази дисертация има за цел да покаже възможности за автоматизирано управление на мрежа средно напрежение. Автоматизираното управление има за цел да намали времето за прекъсване след повреда в системата в рамките на минута, необходима за изключване на повредения участък и възстановяването на захранването на мрежата. След това автоматично се изпращат по-точни данни за характера и мястото на повредата на съответната група за аварийна поддръжка. При така поставената цел могат да бъдат формулирани следните задачи за нейното реализиране:

- 1. Статистически анализ на регистрирани повреди в последните три години на мрежа 22kV в град Roha. Създаване на база данни с директна връзка за тип на повредата, електрически параметри, разстояние.
- 2. Създаване на математически модел на изследвания обект в среда MATLAB-SIMULINK, с който след валидация да се определят зони на вероятност за мястото на аварията в зависимост от характера на повредата и измерените стойности на електрическите величини.
- 3. Да се разработи структура на SCADA за автоматичен контрол с използване на независим канал за връзка.
- 4. Разработване на алгоритъм за бързо локализиране на повредите с две основни подточки:
 - c. Избор на оптимален комуникационен канал;
 - d. Разработване на надежден протокол за комуникация, гарантиращ минимална грешка при максимално възможната скорост за обмен на данни.

Глава 2. Анализ на типични повреди на електропровод 22kV в Roha Town, Индия.

За анализа са взети данните от записите на релейните защиты на Roha Town. Подстанцията със 100kV е свързана през два трансформатора с мощност 22 MVA. За целите на изследването се разглежда изводът, показан на фигура 2.1.



Фиг. 2.1. Еднолинейна схема на електропровод Roha Town..

Разглеждат се данните от последните три години (2014, 2015 и 2016г.), като се анализират следните параметри::

1. Време за изключване.
2. Продължителност на безтоковата пауза.
3. Причината за изключването.
4. Напрежение, ток, мощност и честота, преди и след изключването.
5. Тип на задействаната защита.

2.1 Статистически анализ на повредите

Има много възможни причини за възникване на повреди в електропроводи и разпределителни линии. Повечето от регистрираните повреди са както следва:

- Еднофазно земно съединение;
- Двухфазно късо съединение;
- Двухфазно късо към земя.

Таблица 2.3 и Фиг. 2.4 показват типа на повредата и относителния брой за 2014г. Ясно се вижда, че еднофазното земно е преобладаващо спрямо другите. Практически това са 82,63% от аварияите за годината.

Таблица 2.1 Вид и брой повреди през 2014 г.

Вид Недостатъци	Брой на повредите през 2014 г.
L до G	238
L до L	42
2L Ж	6
A3 ЩЕ	2
LLLG	0
спирания	81

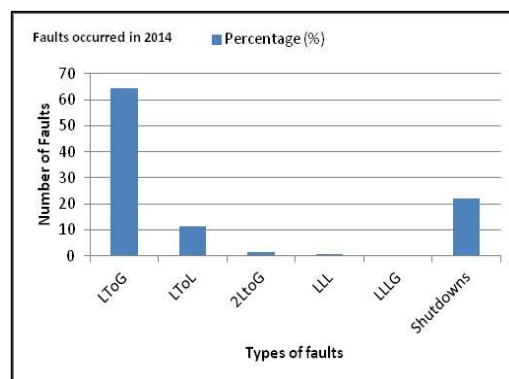


Таблица 2.1 Типични изключения, регистрирани от линейните защиты.

SR NO	DATE	TIME		DURATION	REASON	AFTER TRIPPING										BEFORE TRIPPING										PROTECTION (OPERTED)
		FROM	TO			V	R	Y	B	E	F	P	TIME	V	R	Y	B	E	F	P(MW)						
1	01.03.2015	1.25	1.30	0.05	EF	0.00	00.25	01.21	00.30	01.05	0.00	1.00	24.3	46					49.98	1.74	EF TRIP					
												2.00	24.4	46					50.14	1.74						
2	01.03.2015	4.12	4.17	0.05	EF	0.00	00.11	00.10	01.91	01.85	0.00	4.00	24.7	46					50.28	1.74	EF TRIP					
												5.00	24.9	03					50.23	0.11						
3	01.03.2015	4.17	4.30	0.13	EF	0.00	00.49	00.84	02.16	01.85	0.00	4.00	24.7	46					50.28	1.74	EF TRIP					
												5.00	24.9	03					50.23	0.11						
4	01.03.2015	4.30	4.35	0.05	EF	0.00	00.47	00.75	02.02	01.93	0.00	4.00	24.7	46					50.28	1.74	EF TRIP					
												5.00	24.9	03					50.23	0.11						
5	01.03.2015	6.35	6.40	0.05	EF	0.00	00.15	00.16	02.05	01.95	0.00	6.00	24.7	03					50.18	0.11	EF TRIP					
												7.00	24.6	04					50.06	0.15						
6	01.03.2015	7.25	7.30	0.05	EF	0.00	00.13	00.16	02.01	01.93	0.00	7.00	24.6	04					50.06	0.15	EF TRIP					
												8.00	24.4	04					50.07	0.15						
7	01.03.2015	9.30	9.35	0.05	RY	0.00	01.53	01.79	00.02	02.71	0.00	9.00	24.1	04					50.02	0.15	RY TRIP					
												10.00	23.9	03					50.10	0.11						
8	13.03.2015	13.55	13.57	0.02	HT	0.00					0.00										HAND TRIP					
9	17.03.2015	10.35	10.37	0.02	HT	0.00					0.00										HAND TRIP					
10	18.03.2015	6.56	7.06	0.50	EF	0.00	0019	00.119	01.98	02.25	0.00	6.00	22.8	75					50.05	2.83	EF TRIP					
												7.00	22.7	93					49.94	3.51						
11	20.03.2015	16.30	16.35	0.05	RY	0.00	00.00	00.00	00.00	00.00	0.00	16.00	22.2	71					49.98	2.68	RY TRIP					
												17.00	22.6	64					49.80	2.42						
12	25.03.2015	15.18	15.23	0.05	YB	0.00	00.00	00.00	00.00	00.00	0.00	15.00	21.6	84					50.02	3.17	YB TRIP					
												16.00	22.0	85					49.97	3.21						
13	27.03.2015	17.45	17.5	0.05	RE	0.00	00.00	00.18	00.13	04.03	0.00	17.00	22.8	78					50.29	2.94	RE TRIP					
												18.00	22.8	72					50.29	2.72						
14	27.03.2015	18.35	18.40	0.05	EF	0.00	01.58	00.18	00.18	01.44	0.00	18.00	22.8	72					50.29	2.72	EF TRIP					
												19.00	22.5	90					49.90	3.40						
15	29.03.2015	11.24	11.29	0.05	YE	0.00	00.14	02.64	00.18	03.06	0.00	11.00	21.9	82					49.97	3.09	YE TRIP					
												12.00	22.5	75					49.94	2.83						
16	29.03.2015	11.29	11.39	0.10	YE	0.00	00.15	01.00	00.20	03.48	0.00	11.00	21.9	82					49.97	3.09	YE TRIP					
												12.00	22.5	75					49.94	2.83						
17	29.03.2015	11.52	11.57	0.05	YE	0.00	00.00	00.00	00.00	03.64	0.00	11.00	21.9	82					49.97	3.09	YE TRIP					
												12.00	22.5	75					49.94	2.83						
18	30.03.2015	4.32	4.37	0.05	RE	0.00	01.88	00.16	00.15	03.74	0.00	4.00	23.4	77					50.08	2.91	RE TRIP					
												5.00	23.3	75					49.93	2.83						

Пълните данни от изследването са показани в Приложение А. Там ясно се вижда, че общият брой изключени потребители (съответно икономически загуби) е: поради повреда- 49592689, поради изключване- 294469033, поради другите- 3961461. Общо изключените потребители през месец януари 2018 г. са 348023184.

По същия начин от Приложение В може да се види, че през месец февруари общата загуба на потребители поради авария- 30922306.8, поради изключване- 214941011.4, поради други - 3118676.01. Общо изключените потребители през месец февруари 2018 г. са 248981994.2.

По същия начин през месец март 2018 г. се наблюдава, че общият брой изключени потребители поради авария- 6,979, поради изключване- 11,848, поради други- 0.238. Общо изключените потребители през месец март 2018 г. 19.065.

Важно е да се спомене, че районът Конкан се състои от градска част, а останалата част е хълмиста местност, пресичана от голяма река, гъста гора и е разпръсната така, че има по-голяма вероятност за прекъсване на електрозахранването в сравнение с други региони. Установеният характер на типичните повреди дава основание за математически модел, с който да бъдат изследвани подобен тип аварии, като се допълни базата данни и се локализируют типични зони за вероятно място на повреди.

Глава 3: Разработване на математически модел и изследвания

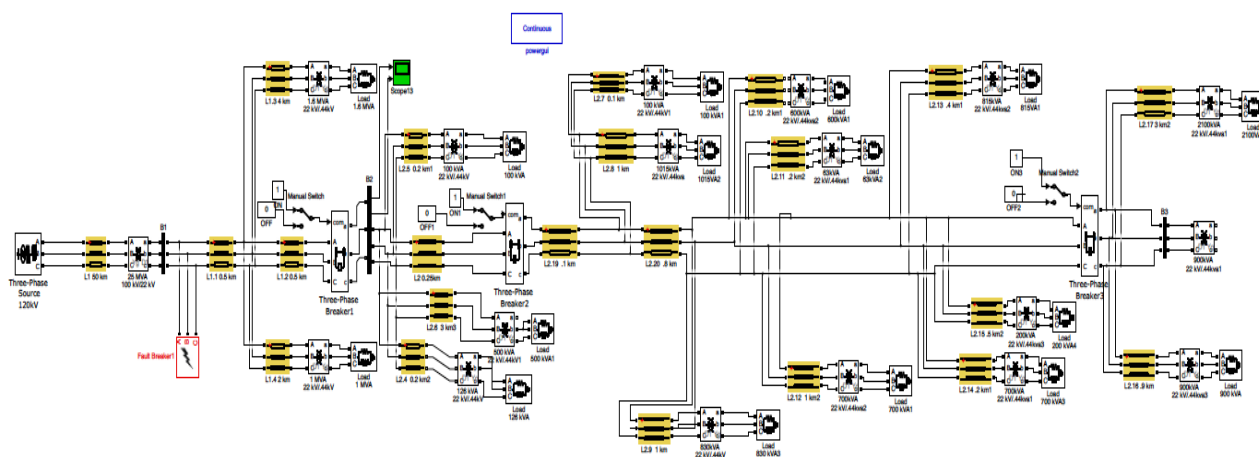
3.1 Анализ

Разработен е модел на Matlab 2015b, който напълно отразява всички характеристики на изследвания обект. Отразени са всички специфични особености- режим на неутралата, индивидуални мощности на отделните елементи, типични стойности на товарите, дължини на линии, геометрия на електропроводите и др. Идеята е чрез симулация на различен тип повреди да се докаже:

- Валидиране на модела чрез сравнение на резултатите от отделните изследвания с тези от реалната база данни;
- Резултатите от изследванията показват повече от 97% покритие, което дава основание разработеният модел да се счита за коректен.
- Генериране на допълнителна база данни за стойностите на контролираните електрически параметри и допълване на базата данни.

3.2 Резултати от симулационните изследвания

Фигура 3.1 показва разработения симулационен модел в Matlab на изследваната мрежа. Той дава възможност да се изследват режимите на мрежата при различни типове смущения в произволни места. Моделиране на мрежа с източник на напрежение 100 kV, отдалечен на 23km, с понижаващ трансформатор на 22 kV. Изследваната линия е моделирана точно със стойности на товарите и съответните мощности на понижаващите трансформатори, както и съответните дължини на електропроводите и сечение на захранващите проводници. Използван е програмируем блок за генериране на различен тип смущения (земни или къси съединения), с който се изследват различни видове повреди. Резултатите са записани в база данни.



Фиг. 3.1. Matlab Симулация на 22 kV линия към земята (А до G)

3.3 Изследване на еднофазно-земно (А до G)

Избрано е случайно локализиране на аварията и симулиране с модела. Таблица 3.1 показва резултатите от симулация на повреда- еднофазно към земно (А към G).

Таблица 3.1 Резултати при еднофазно земно съединение

MEASUREMENTS:

1:	'U A: vikas123a	' =	12422.26 Vrms	-31.84°
2:	'U B: vikas123a	' =	12551.40 Vrms	-151.81°
3:	'U C: vikas123a	' =	12487.30 Vrms	88.65°
4:	'U A: vikas123a	' =	12380.11 Vrms	-31.71°
5:	'U B: vikas123a	' =	12510.19 Vrms	-151.69°
6:	'U C: vikas123a	' =	12445.50 Vrms	88.77°
7:	'U A: vikas123a	' =	12442.43 Vrms	-31.75°
8:	'U B: vikas123a	' =	12571.14 Vrms	-151.73°
9:	'U C: vikas123a	' =	12507.27 Vrms	88.73°
10:	'I A: vikas123a	' =	77.12 Arms	-77.78°
11:	'I B: vikas123a	' =	75.48 Arms	162.40°
12:	'I C: vikas123a	' =	76.53 Arms	43.38°
13:	'I A: vikas123a	' =	0.01 Arms	-76.54°
14:	'I B: vikas123a	' =	0.01 Arms	163.47°
15:	'I C: vikas123a	' =	0.01 Arms	43.44°
16:	'I A: vikas123a	' =	127.93 Arms	-60.49°
17:	'I B: vikas123a	' =	126.45 Arms	179.84°
18:	'I C: vikas123a	' =	127.84 Arms	60.25°

"U_A", "U_B" и "U_C" и "I_A", "I_B" и "I_C" са напрежението и токовете на трите фази. RMS стойностите им, както и ъглите на дефазиране между тях, са показани в дясната колона. Резултатите от математическите изследвания са сравнени със стойности от реални записи. Сравнението е демонстрирано в таблица 3.2. Направени са множество симулации на повреди с известно място на аварията, като сравненията със стойностите от записите на реалните смущения показват съвпадение над 97%. Реално отклоненията се дължат на твърдо зададените стойности на товарите в модела или на преходното съпротивление в мястото на аварията, което трудно може да бъде моделирано точно.

Таблица 3.2 Сравнение на резултати от математически изследвания и записи на реални процеси

Реален ток		Симулиран ток	01.13.16	01/17/16	7.3. 16	12.04.16
I _A [A]	876	883	836	856	972	864
I _B [A]	80	73.44	68	00	64	88
I _C [A]	76	73	64	68	52	84

Таблицы 3.2, 3.3 и 3.4 илюстрират съвпадението на резултатите от изследванията със симулационен модел и тези от реалните процеси. Например, реалният запис за тока на фаза А е 876Am, а при симулацията полученият резултат е 883Amp. Разликата е около 1%. Показани са и други симулации на повреди на различни дати (12/04/16), показващи същата степен на достоверност.

Таблица 3.3 Сравнение на резултати от математически изследвания и записи на реални процеси

	05.22.16	05.29.16	11.0.16	06.16.16	18.06.16	07.01.16
I _A [A]	896	853	836	808	868	820
I _B [A]	56	72	72	72	84	68
I _C [A]	60	72	64	52	80	56

Таблица 3.4 Сравнение на резултати от математически изследвания и записи на реални процеси

	07.08.16	07.10.16	13.07.16	14,716	23.08.16	02.09.16
--	----------	----------	----------	--------	----------	----------

I_A [A]	780	840	860	848	884	848
I_B [A]	56	60	60	48	80	84
I_C [A]	44	44	48	40	76	76

Таблица 3.5 Симулации при земно съединение (линия А към земя G)

103	"Il_transfo_3_Lm: 200kVA, 22kV / 44kVa3"	=	0.00Arms	28.49°
104	"Il_transfo_1_winding_2: 2100kVA, 22kV / 44kVa1"	=	883.52Arms	107.21°
105	"Il_transfo_1_Lm: 2100kVA / 22kV / 44kVa1"	=	0.00Arms	-90.80°
106	"Il_transfo_2_winding_2: 2100kVA, 22kV / 44kVa1"	=	883.88Arms	12.80°
107	"Il_transfo_2_Lm: 2100kVA, 22kV / 44kVa1"	=	0.00Arms	149,19°
108	"Il_transfo_3_winding_2: 2100kVA, 22kV / 44kVa1"	=	883.46Arms	-132.81°
109	"Il_transfo3_windingL0: 2100kVA, 22kV / 44kVa1"	=	0.00Arms	-76.14°
110	"Il_transfo_3_Lm: 2100kVA, 22kV / 44kVa1"	=	0.00Arms	29.17°
111	"Il_transfo_1_winding_2: 25MVA, 120кВ / 22kV"	=	73.31Arms	149.48°
112	"Il_transfo_1_Lm: 25MVA, 120кВ / 22kV"	=	0.24Arms	-90.41°
113	"Il_transfo_2_winding_2: 25MVA, 120кВ / 22kV"	=	73.26Arms	30.23°
114	"Il_transfo_2_Lm: 25MVA, 120кВ / 22kV"	=	0.24Arms	149.58°
115	"Il_transfo_3_winding_2: 25MVA, 120кВ / 22kV"	=	74.11Arms	-90.11°
116	"Il_transfo_3_winding_L0: 25MVA, 120кВ / 22kV"	=	0.00Arms	-44.04°
117	"Il_transfo_3_Lm: 25MVA, 120кВ / 22kV"	=	0.24Arms	29.58 °

Глава 4. Разработване на SCADA и алгоритъм за бързо локализиране на повреди по въздушни линии на 22kV "Roha town "

4.1 Описание и анализ на електропровод "Roha town"

Електропровод "Roha town" е изграден като отворена пръстеновидна мрежа. Състои се от 21730 м въздушна линия, включваща гръбначна (магистрална) линия, подмагистрала и отклонения. Въздушната линия е изпълнена със стоманорешетъчни и стоманобетонни стълбове и проводници тип АС-35,50,75,95 мм².

4.1.1 Действащ метод за локализиране на повреди по електропровод "Roha town"

Поради климатичните условия в района на електропровод "Roha town" той често е обект на преходни и трайни аварии. Обикновено при преминал аварийен ток по някаква част от електропровода той се изключва автоматично от релейна защита в захранващата го разпределителна уредба 22kV.

4.1.2 Последователност на действията за водене на авария по електропровода

Например в даден участък възниква авария. Последователността на този процес е следната:

1. Изводът изключва автоматично от Релейна защита.
2. Дежурният оператор вижда от каква защита е изключил извода и предава информацията на "диспечера" който управлява мрежата.

Диспечерът има за задача да възстанови възможно най-бързо захранването на крайните потребители.

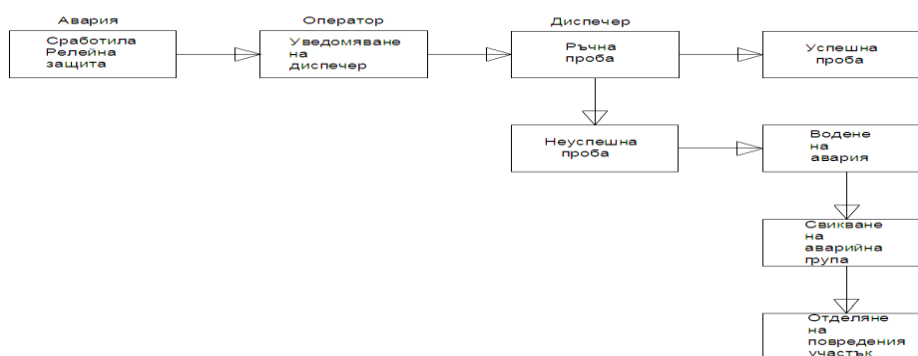
3. Диспечерът изчаква 4,5 минути и дава разпореждане на Дежурен оператор да направи така наречената проба (т.е да включи извода).
4. След повторно изключване на извода от защита, той бива окончателно обявен за трайно аварийен.
5. Следващата стъпка е свикването на аварийна група от диспечера за обход на електропровода.

Поради въведените ограничения за неуспешни проби, описани по-горе авария се води чрез разделяне на електропровода на участъци.

6. Аварийната група първо застава на РОС 29 и изключва разединителя. През това време електропроводът е изключен от прекъсвач в захранващата го разпределителна уредба. След изключване на РОС 29 се подава напрежение на извода от захранващата го уредба и при положение, че изводът е в изправност и няма отклонение на напрежението от номиналните му стойности се продължава напред и манипулациите се повтарят със следващия РОС N 24, после с РОС 21 с РОС 18 и така по описания начин с РОС 29.

При последната проба електропроводът ще изключи автоматично от собствената си релейна защита и чак тогава ще бъде локализиран повреденият участък. С блокова схема (фиг. 4.1) е показана последователността на действията на диспечера и оперативния персонал при ,водене на авария‘ по електропровода.

Фигура 4.1 Последователност на действията на диспечера и оперативния



персонал при ,водене на авария‘ по електропровода.

4.1.3 Начини и възможни средства за по-бързо локализиране на аварии по въздушни електропроводни линии

Поради нарастването на изискванията за надеждност и непрекъснатост на електрозахранването се налага постоянно да се търсят **решения за подобряване на методите и минимизиране на времето за откриването на мястото на повредата** в мрежите СрН.

Надеждност и непрекъснатост на електрозахранването се осигурява чрез:

- Голям брой управляеми участъци.
Разпределителната мрежа се разделя на голям брой участъци чрез секционни разединители.

Предимствата са:

- По бързо и лесно локализиране на авария;

- При установена трайна авария ще има по малко потребители без захранване;
- Внедряване на индикатори за къси и земни съединения за най-честите повреди;
- Сигурна комутационна апаратура и изправна разпределителна мрежа;
- Внедряване на комутационна апаратура с телеуправление.

За по-бързото локализиране на повредения участък може да са приложат предлагания метод за предварителна оценка на вероятната зона на повредата (направена в глава 3) и адаптивност на алгоритмите в SCADA сървъра за приоритети при определяне на изходната точка (с най-голямата вероятност за авария) при стартирането на процедурата за „разпитване“ на локалните устройства.

Стартовата процедура трябва да определи изходната точка чрез наслагване на изображенията на топологията на мрежата и изображенията на зоните с типични стойности на контролираните параметри за конкретен ти смущение.

Може да се направи аналогия с обучението на неврона мрежа по отношение на допълването и прецизирането на въведената база данни за зоните в реално време. Изходните стойности на създадената вече база са определени въз основа на направените в глава 2 и глава 3 статистически анализ и математическо моделиране.

За да се изгради надеждна система в този случай е необходимо да се анализират:

- възможните източници на информативни сигнали;
- комутационната апаратура;
- преносната среда и протоколите за обмен на информация,

като се отчитат всички ограничителни условия за всеки един от компонентите!

4.2 Индикатори за междуфазни къси и земни съединения

В дисертационна труд подробно са разгледани различни видове сигнализатори, използвани масово в практиката. Като се има предвид насоката на изследването, тук се разглеждат само тези, които предлагат дистанционен достъп до регистрираните събития.

4.2.1 Индикатори с комуникация към диспечерско управление

Този тип индикатори също регистрират токовете на къси и земни съединения. Разполагат с вграден комуникационен модул с интерфейс RS485.



Фигура 4.2 Индикатор с комуникация към диспечерско управление

Допълнително могат да събират и предават информация за състоянието на мрежата към SCADA, като информацията се предава чрез комуникационна среда покриваща големи разстояния. Чрез SCADA се извършва централизирано наблюдение и контрол на разпределителната мрежа чрез получена информация за състоянието на обектите. В системата за управление индикаторите се определят като полеви устройства. Друго тяхно предимство е възможността им да комуникират с PLC и RTU.

4.3 Внедряване на телеуправляема комутационна апаратура за по-бързо локализиране на аварии по електропровод "Roha town"

4.3.1 Избор на комутационна апаратура - Телеуправляем товарен прекъсвач

Конвенционалните "POC 29, POC N 24, POC 21, POC 18" и др. могат да се заменят с телеуправляеми товарни прекъсвачи тип Fla15/97 400A на DRIBO.

Основните изчисления, необходими за избора на товарния прекъсвач са:

1. Номинални токове на клоновете

За номинални токове приемам максималните за електропровода съгласно допустимия продължителен ток за съответните проводници.

- За магистралната линия – 320A
- За подмагистралната линия – 265A
- За останалите клонове – 215A

4.3.2. Изчисляване на токове на к.с. на електропровод "Roha town"

Токът на късо съединение на линията е равен на

$$I = S_k / (\sqrt{3} \cdot U_{CP}) \text{ (kA)} \quad (4.1)$$

$$S_k = U_{CP}^2 / (X_0 \cdot l) \text{ (MVA)} \quad (4.2)$$

$$U_{CP} = 21 \text{ kV}$$

Дължина на основната магистралата (най-дългата отсечка)

$$L = 17.530 \text{ km}$$

Относително индуктивно съпротивление X_0

$$X_0 = X_l - X_{мсп} \quad (4.3)$$

Където X_l е собствена индуктивност на електропровода и се намира по формулата:

$$X_l = 0,145 \cdot \lg(D_3 / r_{екв}) \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

$$r_{екв} = 0,475 \cdot d_w \text{ (m)} = 0,475 \cdot 0,0123 = 0,0064$$

Където d_w е диаметър на проводника

$r_{екв}$ е еквивалентния радиус на проводника

$$r_{екв} = 0,475 \cdot d_w \text{ (m)} = 0,475 \cdot$$

Взаимната индуктивност на електропровода " $X_{мсп}$ " се определя

$$X_{мсп} = 0,145 \cdot \lg(D_3 / D_{cp}) \text{ (}\Omega/\text{km)} \quad (4.4)$$

D_{cp} е средното геометрично разстояние между проводниците на трифазна линия и се определя:

$$D_{cp} = \sqrt[3]{d_{AB} * d_{AC} * d_{bc}} = \sqrt[3]{2.7^3} = 2.7 \quad (4.5)$$

d_{AB}, d_{AC}, d_{bc} - разстоянията между проводниците на трипроводната линия

$D_3 = 935$ - разстоянието между проводниците и земя, което се определя по формулата на Карсон.

От изчисленото по-горе следва, че:

$$X_l = 0,145 \cdot \lg(D_3 / r_{екв}) = 0,145 \cdot \lg(935 / 0,0064) \quad (\Omega/km)$$

$$X_l = 0,7488 (\Omega/km)$$

$$X_{мсп} = 0,145 \cdot \lg(D_3 / D_{cp}) = 0,145 (935 / 2,7) \quad (\Omega/km)$$

$$X_{мсп} = 0,368$$

$$X_0 = X_l - X_{мсп} = 0,7488 - 0,368 = 0,3808$$

$$S_k = U_{cp}^2 / (X_0 \cdot l) = 21^2 / (0,3808 \cdot 17,530) = 66,06 (mVA)$$

$$I = S_k / (\sqrt{3} \cdot U_{cp}) = 1,82 \text{ kA} \quad (4.6)$$

4.3.3. Телеуправляем товаров прекъсвач

Конвенционалните РОС могат да се заменят с телеуправляеми товари прекъсвачи тип Fla15/97 400A на DRIBO.

Описание и функционално предназначение на избраната апаратура:

Телеуправляемият триполусен товаров прекъсвач се използва за секциониране на въздушни електропроводи 22kV, както и в комбинация с реклоузер с трикратен цикъл на автоматично повторно включване (АПВ) с възможност за изключване в безтокови паузи. Телеуправляемият триполусен товаров прекъсвач е съоръжен с токови измервателни трансформатори и се използва и за локализиране на земни и къси съединения.

Като резултат от направените изчисления и анализи може да се направи следният извод: При представените характеристики можем да направим заключение, че избраният товаров прекъсвач отговаря на всички условия за монтаж на съответния електропровод – номинално напрежение, номинален ток, токове на термична и динамична устойчивост.

4.4. Телемеханичен периферен пост (RTU)

Телемеханичният периферен пост (RTU) е основно устройство, което работи в реално време със системата за управление. Събира и предава данни за състоянието на електропровода и осигурява дистанционното му управление от по-високо йерархично ниво. Телемеханичният периферен пост се монтира в таблото за управление на Телеуправляемия триполусен товаров прекъсвач.

Функциите на RTU, свързани с конкретната задача, са:

- Телеизмерване
 - RTU трябва да приема следните електрически величини:
 - ток на трите фази (Ia, Ib, Ic)
 - фазно напрежение (Ua-n, Ub-n, Uc-n)
 - линейно напрежение (Uab, Ubc, Uca)
 - трифазна активна мощност

- трифазна реактивна мощност
- трифазна пълна мощност
- Телекоманди
 - управление на товаровия прекъсвач
 - управление на разединители
 - управление за повторно стартиране на защитата (reset)
- Обработка на телекоманди:
 - да приема телекоманди от системата система от по-високо ниво и да формира управляващи въздействия
 - да има възможност за потребителско задаване на продължителността за управляващото въздействие
- Обработка на телеисигнализации:

Да отчита и обработва едно- и/или двубитови телесигнализации, подадени от външни потенциално свободни контакти при промени на състоянието на комутационните елементи и да присвоява време на възникването им $10\text{ms.} \leq$ разделителната способност на времето за хронологичните събития да е Когато се получат повече от 5 събития в 10ms интервал да са предават по реда на появата им.

4.5 Система за телеуправление на електропровод "Roha town"

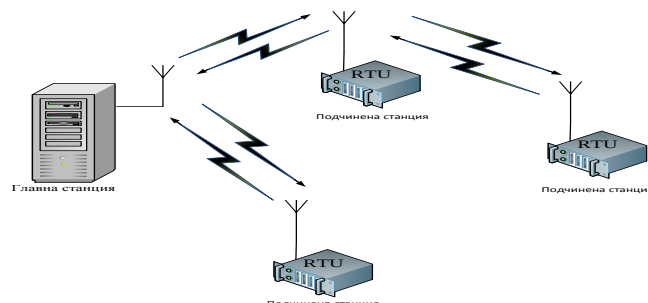
4.5.1 SCADA - основни изисквания и възможности

Използването на дистанционно управлявани прекъсвачи и сигнализатори за земни и къси съединения е подход за постигането на подобрене на разпределителни мрежи и дава предимство при откриване и изолиране на аварии и преразпределение на електрическите товари. За осъществяване на този подход е необходимо внедряването на система за оперативен контрол и снемане на данни – SCADA.

4.6 Комуникационна архитектура

Съществуват три основни физически възможни комуникационни архитектури. Разбира се, в една комуникационна система те могат да бъдат комбинирани.

- **МНОГОТОЧКОВА**



Фигура 4.3 Многоточкова комуникационна архитектура

При тази конфигурация има една главна и много подчинени станции. Данните се предават между главната и всяка една от подчинените станции. Предаването на данни между две подчинени станции се осъществява през главната станция, която играе роля на администратор. Като вариант е възможно

всички станции да комуникират като „равен към равен“, но това е по-сложна комбинация и изисква сложни комуникационни протоколи за избягване на конфликти.

Оптималната структура в случая е Многоточкова комуникационна архитектура като въпреки удобствата на multi-master mode на протокола е по-добре, поради спецификата на контролирания процес, да се ориентираме към информационен модел master-slave.

4.7 Съобщение среда за дистанционно управление

Обменът на данни с телеуправляемия товар прекъсвач и сензорите може да бъде осъществен чрез:

- •Кабелна връзка за управление от съответните станции с постоянен оперативен персонал. (Кабелни мрежи)
 - 100BASET LAN или оптична TCP/IP мрежа;
 - CATV – кабелна телевизионна мрежа;
 - Power Line- предаване на данни по мрежа ниско напрежение;
 - RS485 (за къси трасета);
 - Др.
- •Управление, осъществено чрез безжична връзка между оперативния персонал и апаратите. (Радио мрежи)
 - GSM/GPRS;
 - PMR – радио мрежи за подвижна връзка;
 - WLAN 802.11a,b,g;
 - Paging;
 - TETRA;
 - др.

4.8 Анализ на възможностите за реализация на комуникационната мрежа

4.8.1 Основни компоненти и алтернативи на решение

Системата има два основни компонента: комуникационна мрежа и елементи за контрол и управление.

Вариантите за реализиране на комуникационната част са няколко. Централизирано управление и контрол изисква топология на мрежата тип точка-множество точки и обратно. Режимът на работа трябва да бъде дуплексен или полудуплексен за да може да се обменя информация в посока към обектите за управление и контрол и обратно към центъра за управление. От технически аспект, за комуникационна среда, могат да се използват различни комуникационни среди, свързани с определен тип комуникационна мрежа. Възможни са следните варианти:

Кабелните линии могат да бъдат изградени както със съобщителни, така и с оптични кабели. Използването на кабелна връзка за управление е свързано с голямо капиталовложение и нужда от постоянен поддържащ и ремонтен персонал. Безжичното управление може да се изгради чрез:

- GPRS система, която да използва изградената от мобилните оператори мрежа. При тази система разстоянието между управляващия и управлявания

обект е неограничено. Недостатък е използването на чужда мрежа върху чиито характеристики и надеждност не може да се влияе.

- ZigBee протокол, базиран на стандарта IEEE 802. За него се изискват маломощни предаватели, които могат да се пренасят данни на разстояние не по-голямо от 80км.

Предимствата на дистанционния контрол по безжичен канал са, че има много добро качество на връзката, може да се контролира от всяко едно място, на което има интернет връзка (при използване на медия-конвертори) и няма ограничение в това колко обекта и контролера могат да се управляват.

При избора на вариант за решение се прилагат два основни принципа:

1. Техническа и икономическа независимост на комуникационната мрежа. Тя трябва да бъде собственост на оператора. Изисква се налага поради факта, че управлението и контрола, са част от процеса, които не трябва да зависи от цикличните условия на пазара.

2. Технически и икономически параметри в изграждането и поддръжката на мрежата;

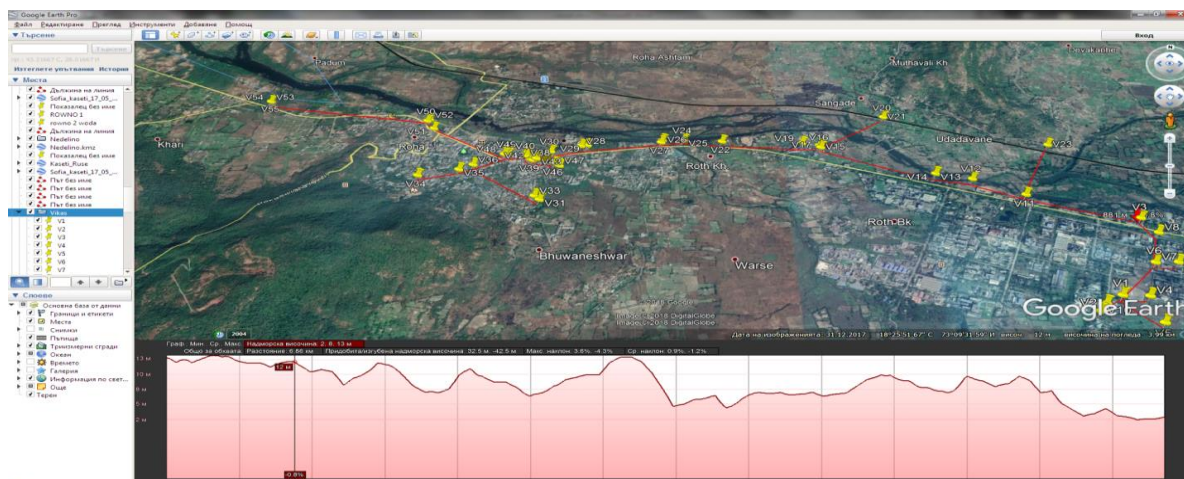
Съществува и трети вариант, при използване на свободен честотен канал –ZigBee или LoRa. В този случай комуникационните услуги са безплатни, като остава единствено да се повишат мерките за надеждност и шумоустойчивост при обмена на данните.

Ако няма такава е добре да се използва **ZigBee или LoRa** комуникационна среда в свободния диапазон. Допълнително към нея, контролирането на системата може да се извърши чрез използване на GSM комуникационна среда. Това повишава многократно надеждността на системата поради факта, че при настъпила повреда контролът и управлението може временно да се организира по допълнителния канал. Данните за управление се предават през собствената **ZigBee или LoRa Mesh** мрежа, а контролът се извършва чрез обществената GSM мрежа. Така се съчетават предимствата на двете комуникационни среди, като се запазва автономията на процеса на управление (независим от други оператори). Освен това разходите за експлоатация на GSM частта ще се намалят поради това, че потокът от данни се разделя между двете мрежи - евентуално ще се заплаща само преноса на данните за контрол през GSM оператора.

4.9 Проектиране на радиомрежата

4.9.1 Основни параметри на радиомрежата

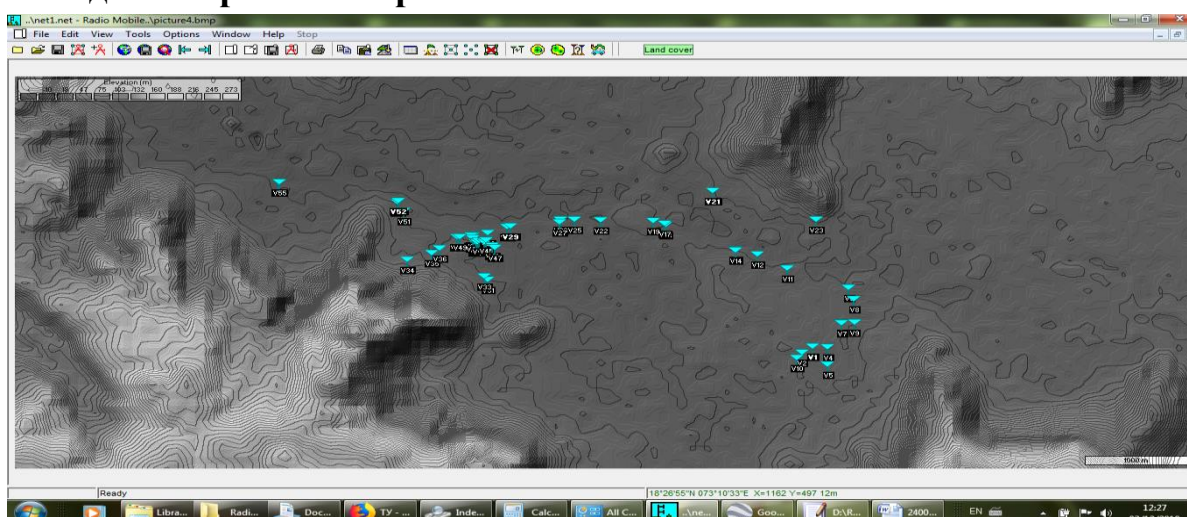
1. Работна честота: варианти 2.4GHz, 915MHz, 433MHz;
2. Номинална изходна мощност на предавателите : 1W (4dBm);
3. Минимална чувствителност на приемниците при BER<10-4:-127-138dBm;
4. Усилване на антените:2-6dBi;
5. Средна височина на антените на приемниците: 4m;
6. Височина на антените на ретранслаторите: в зависимост от точката ;
7. Затихване в кабела: max 1dB;
8. Климатична зона: суб тропичен;
9. С отчитане на гориста местност и населени места.



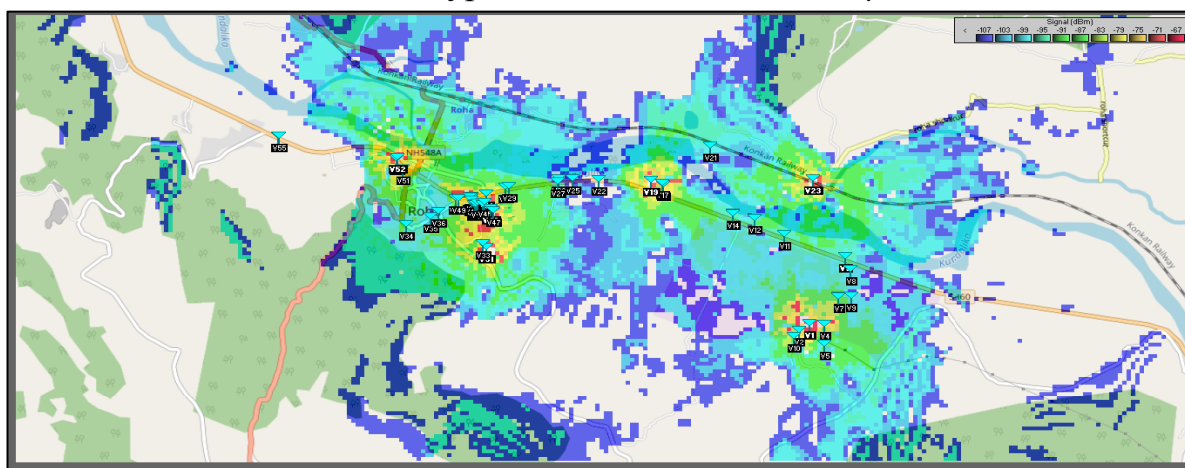
Фигура 4.4 обобщено топографското разположение на и броя на възлите.

Горните параметри на радиомрежата са използват за изчисление на радио покритието с помощта на цифрова карта на местността и специализиран софтуер. Приложен е ITS модел на разпространение на електромагнитна вълна с отчитане неравенството на терена и неговите параметри.

4.9.2 Радио покритие на трасето



Фигура 4.5 Ниво на сигнала в μV

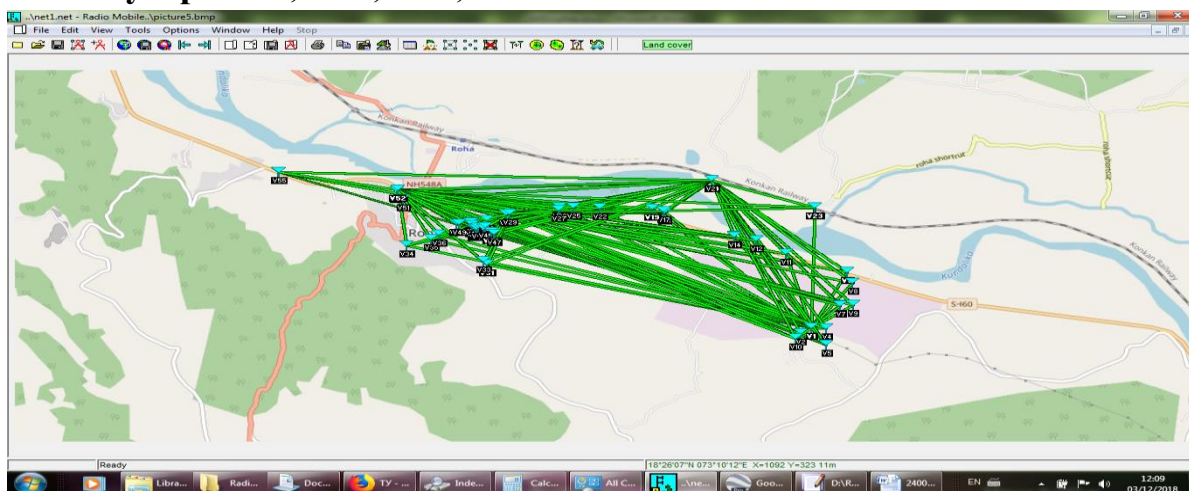


Фигура 4.6 ZigBee 2.4 GHz, V 1,3 ,19,23,31,41,52 - Опорни възли (рутери)

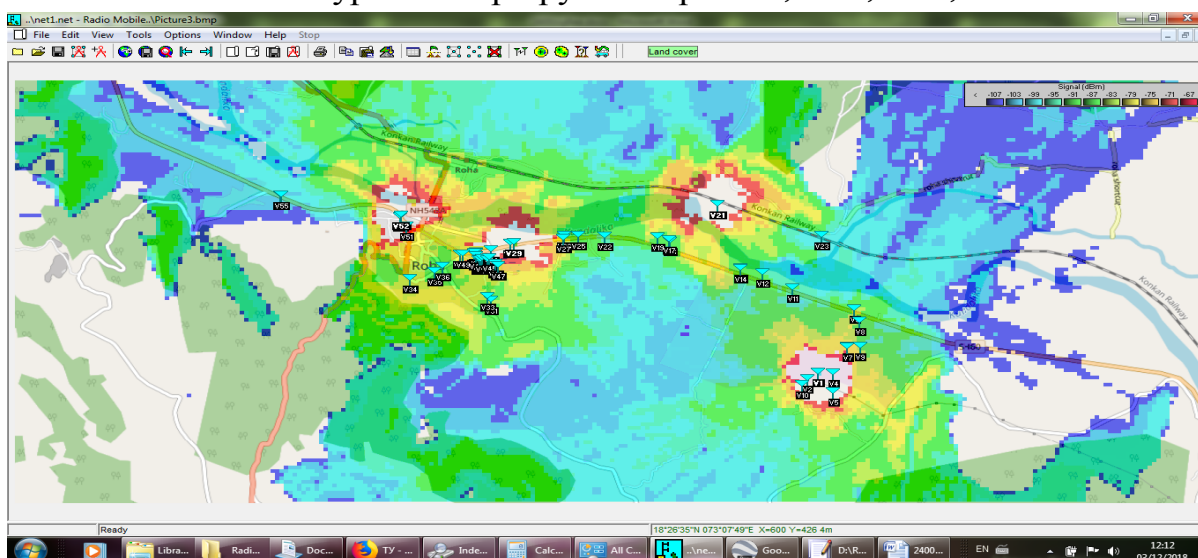
Изследването се извършва със специализиран софтуер Radio Mobile, в който са вградени база данни за надморската височина и профилът на терена за съответните координати. Задават се входни данни за височината на антените, опорни точки (ретранслатори), мощност на предавателя, честотна лента и др. Фигурите по-долу показват нивото на сигнала в μV в зона на електропровода. Точките, от които се излъчва сигнала са: Централна станция – Сградата на подстанцията, опорни точки (ретранслатори) V21 и V22.

4.10 Анализ на покритието ZigBee 915MHz

Рутери: V1, V21, V29, V51



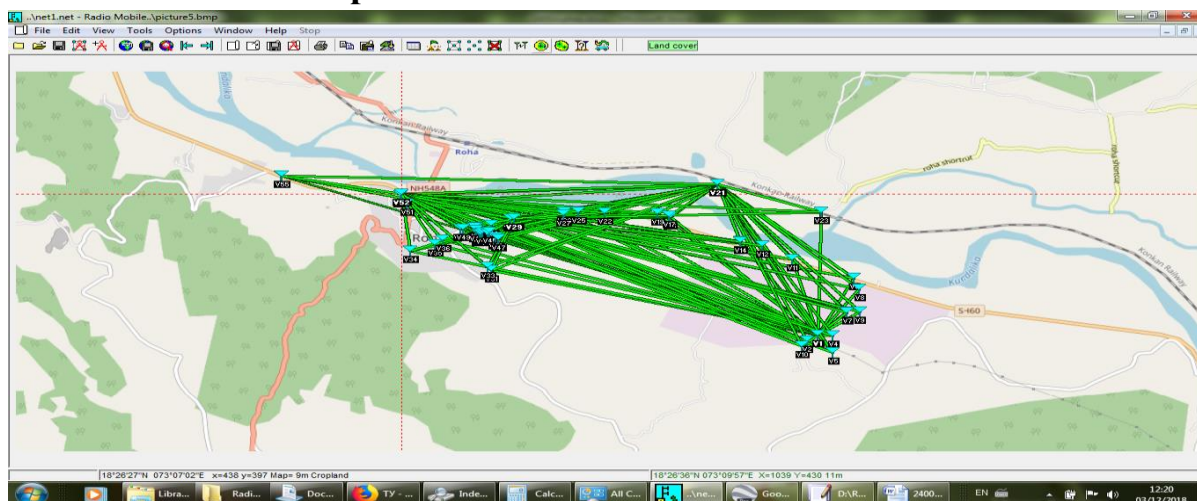
Фигура 4.7 маршрутизатори: V1, V21, V29, V51



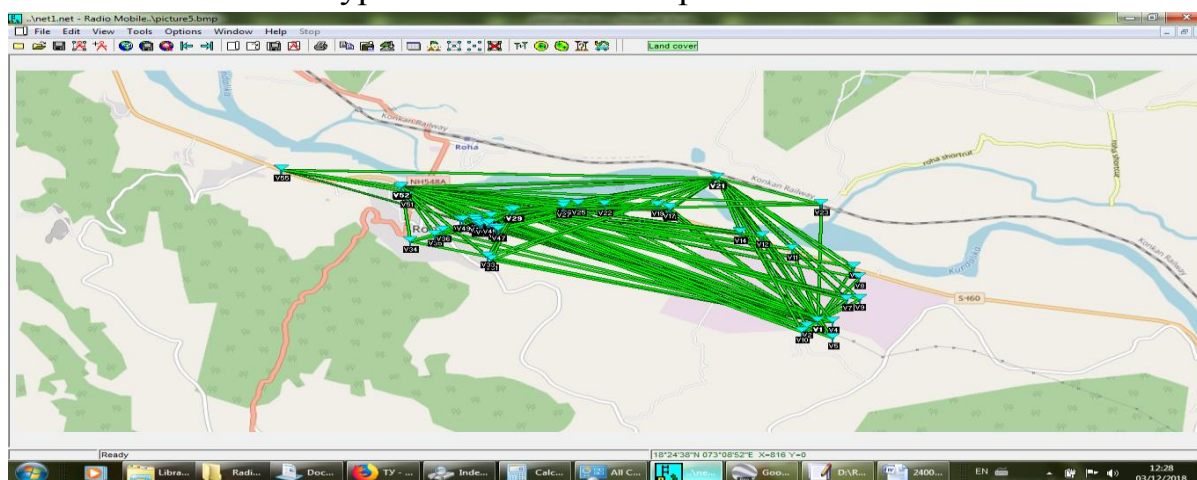
Фигура 4.8 Прилагане ZigBee окото мрежа поради пълно покритие и връзка между обектите с номера <и V22> V22.

Съществува пряка видимост. Има възможност да се осъществи ZigBee mesh мрежа, поради цялостно покритие и връзка между обекти с номера < V22 и > V22. Запасът по ниво на сигнала е минимален.

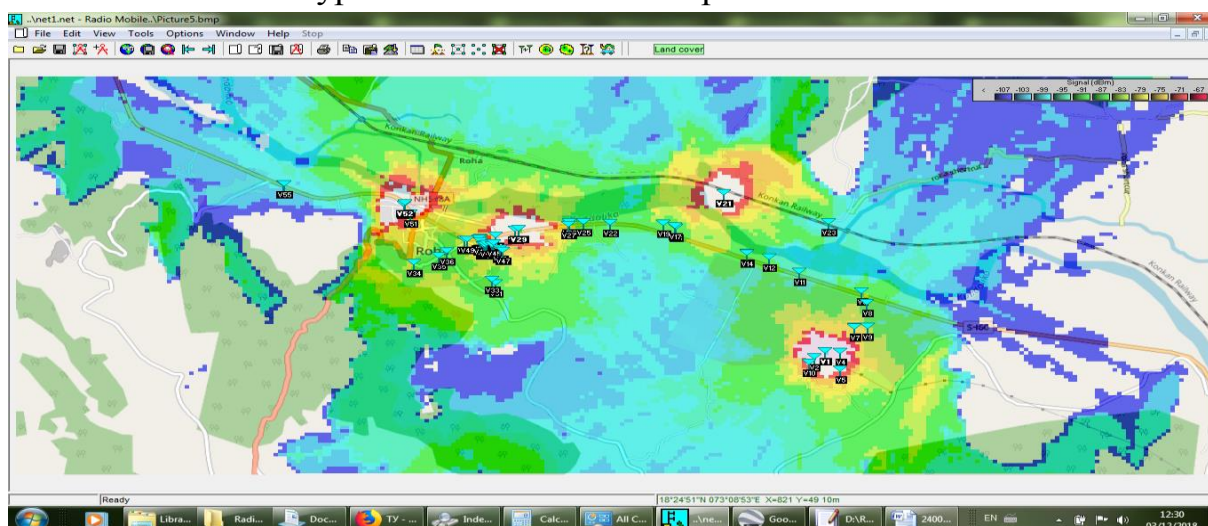
4.11 Анализ на покритието Lora 915MHz



Фигура 4.9 Анализ на покритието Lora 915MHz



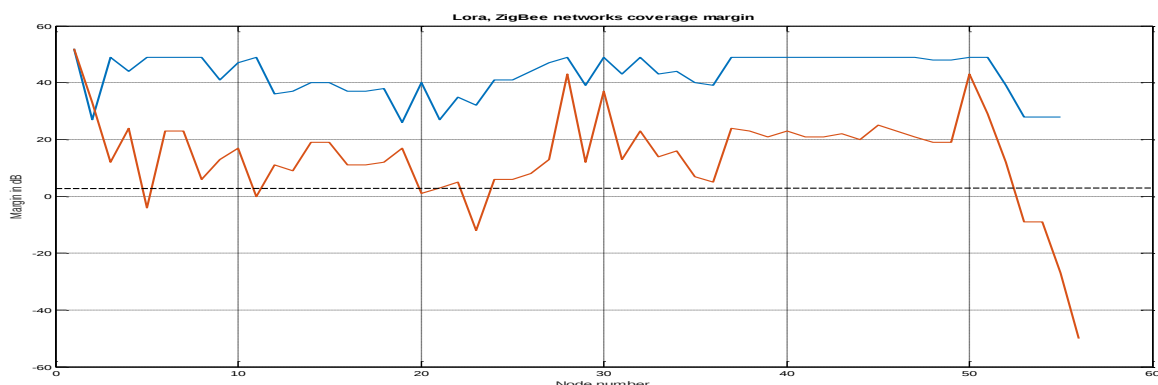
Фигура 4.10 Анализ на покритието Lora 433MHz



Фигура 4.11 Местоположение на **точките с най-добро радиопокрытие**

Сравнение на запаса по ниво между мрежите 433LoRa_mesh и 915ZigBee_mesh е визуализирано на фиг.4.12. Графичната обработка е в среда Matlab, като входни данни са табличните стойности от изследванията. Това ще осигури много по-висока скорост в обмена на данни и следователно много по-бързо

локализиране на аварията и възстановяване на захранването на работните сечения.



Фигура 4.12 Сравнение на запасите в нивата между мрежите и 433LoRa_mesh
915ZigBee_mesh

4.12 Теоретично изследване на шумоустойчивостта

Информацията се предава с ниски скорости и с малка големина на кадрите. За канал с адитивен бял Гаусов шум, вероятността за грешка на един бит при двукратна фазова модулация (2PSK), и при разширен спектър (LoRa при ниски скорости), се определя с формулата:

$$Pe = 0.5 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{P_s}{P_n}} \right) = 0.5 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right) \quad (4.7)$$

Поради влиянието на бавен плосък фаддинг се въвежда разнесено предаване във времето. Един и същ кадър се повтаря n на брой пъти. При детектиране се взема решение по мажоритарния критерий k от n . Ако k на брой пакета от общо n са еднакви се приема, че пакетът е без грешка. Целта е да се минимизира влиянието на фадинга и да се повиши шумоустойчивостта на модема.

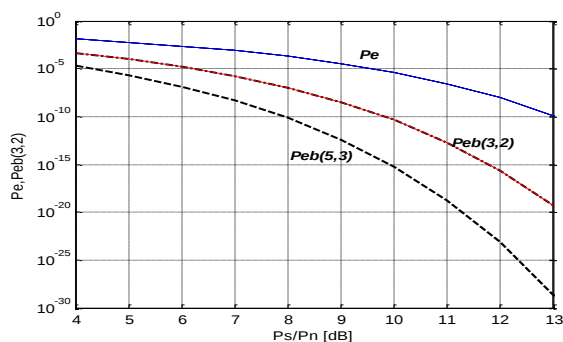
Получаването на грешка в кой и да е от повтарящите се пакети е независим случаен процес. Вероятността за грешка P_{me} , след прилагане на мажоритарен критерий за решение, се определя с формулата на Бернули. Ако се използва решение по правилото k от n , вероятността за грешка на един бит е сума от вероятностите:

$$Pe_b(n, k) = \sum_{i=k}^n P_{me}(n, i) = \sum_{i=k}^n \frac{i!}{i!(n-i)!} Pe^i (1-Pe)^{n-i} \quad (4.8)$$

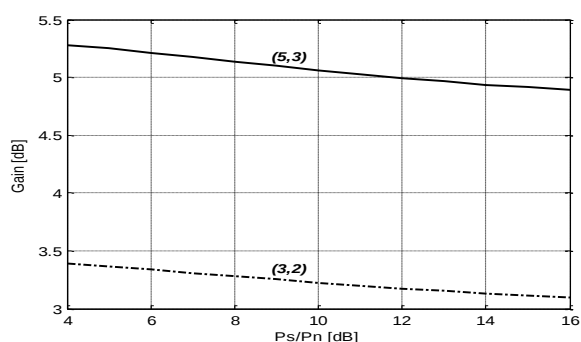
където n е броят на повтарящите се битове – по един бит в пакет, а k е броят на сгрешените битове, а Pe е вероятността за грешка на един бит при предаване без повторение – формула 4.8

На фиг.4.13 са представени резултатите за теоретичната вероятност за грешка без повторение Pe , с решение 2 от 3 - $Pe_b(3,2)$ и решение 3 от 5 и $Pe_b(5,3)$. Фиг.4.14 дава в графичен вид зависимостта на печалбата в отношение сигнал – шум при използване на критерии за решение 2 от 3 и 3 от 5.

Получените резултати показват, че в значителна степен се подобрява шумоустойчивостта при използване на многократно предаване и мажоритарен критерий. Печалбата в отношението сигнал шум при (2,3) е над 3dB, а за (3,5) около 5dB.



Фигура 4.13 Теоретична вероятност за грешка без повторение P_e , с решение 2 от 3 - $P_{eb}(3,2)$ и решение 3 от 5 - $P_{eb}(5,3)$.



Фигура 4.14 Зависимост от печалбата в сигнал - шум, използвайки решение критерии 2 от 3 и 3 от 5.

Подобрената шумоустойчивост е за сметка на намаляване на действителната информационна скорост поради повторение. В някои практически случаи се търси по скоро висока надеждност на пренасяната информация, отколкото скорост на обмен. Такива са системите за телеметрия и управление на отдалечени обекти. Например при радиоканално управление на обекти от изследвания тип, количеството предавана информация е малко, но се търси висока надеждност при приемане и изпълнение на команди. В особено висока степен това се отнася до симплексни комуникационни системи, където не съществува обратен контролен канал.

4.13 Резултати от изследване на шумоустойчивостта

Шумоустойчивостта е изследвана с помощта на създадения модел. Каналът е моделиран с бял Гаусов шум. Изследванията са направени като се променя отношението сигнал-шум и се измерва коефициентът на двоична грешка BER. Избран е мажоритарен критерий за решение 2 от 3. На фиг. 04.13.14 са показани измерените резултати и теоретично получените от формули (4.7) и (4.8).

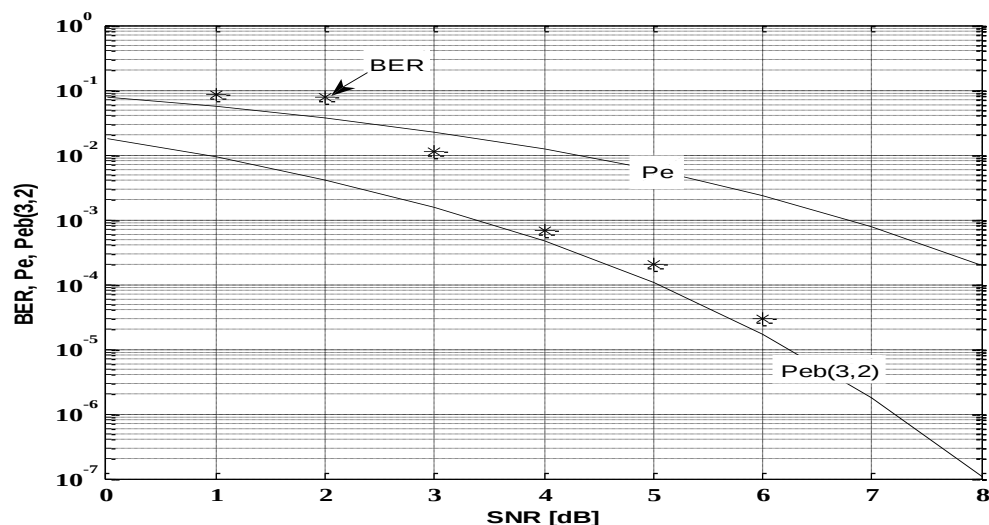
Вижда се, че при ниски отношения сигнал-шум измереният BER се различава в значителна степен от теоретичната стойност. Това е така, тъй като в този случай BER се определя от процеса на синхронизация. При ниски отношения сигнал-шум грешката от синхронизация е голяма. За нива на $SNR > 4\text{dB}$ получените резултати се доближават до теоретичните

4.14 Заключение и изводи от изследването на шумоустойчивостта

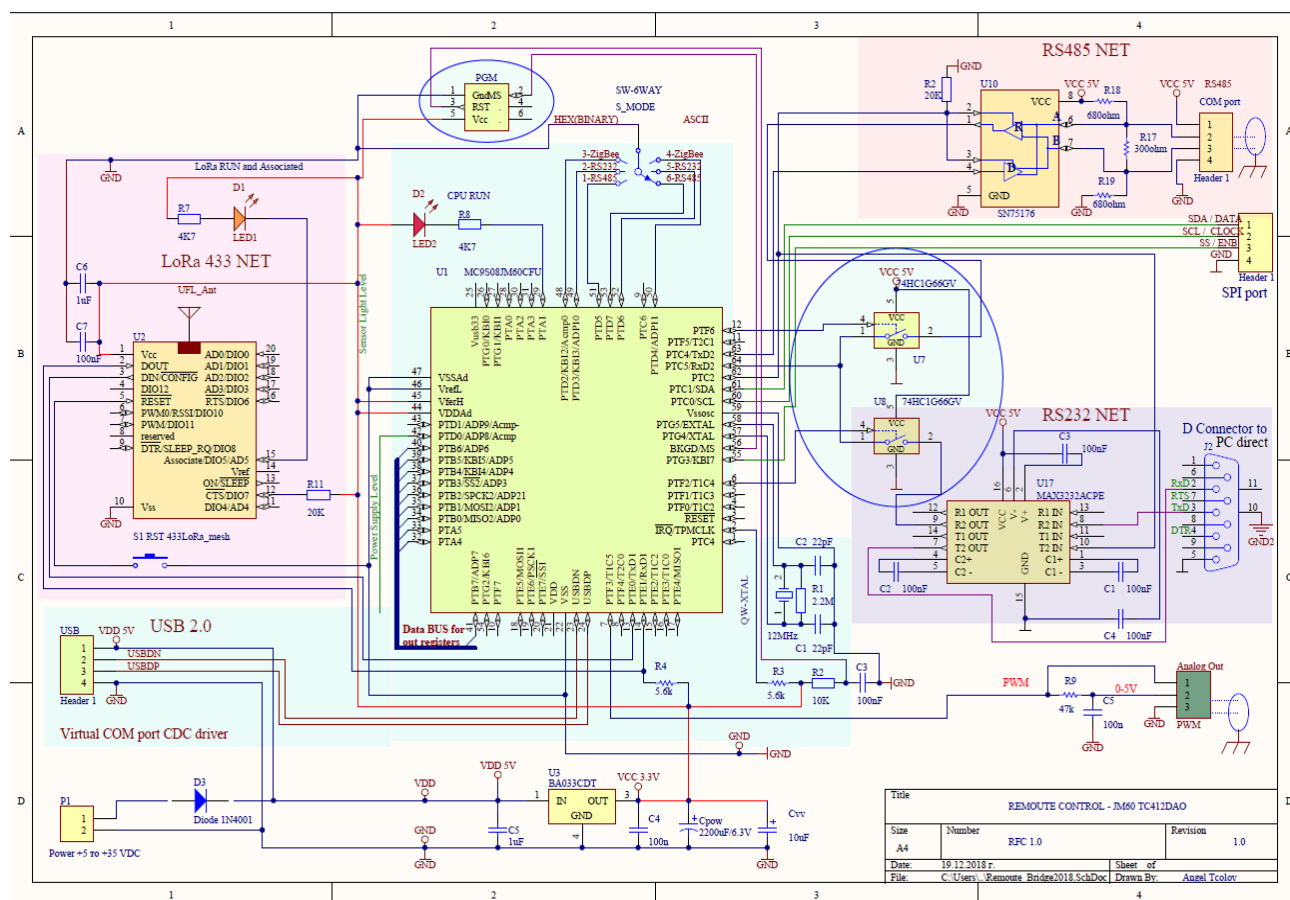
Тук е предложен и изследван модем за предаване на данни в с обхват за радиомрежи в свободен честотен диапазон в полудуплексен режим на комуникация. За да се повиши шумоустойчивостта се прилага разнесено предаване на информацията с мажоритарен критерий за решение две от три (2,3) или (3,5). Направените теоретични изследвания показват, че за сметка на въведения информационен излишък, печалбата в отношение сигнал-шум е съответно 3 dB и 5 dB при решение (3,5). Създадените модели и теоретичните разглеждания са дали възможност да се изследва шумоустойчивостта на модема в канал с адитивен бял Гаусов шум. Резултатите показват, че при ниски

отношения сигнал-шум, измереният BER не се различава в значителна степен от теоретичната стойност. Вероятността за грешка е:

$$Pe_b(2,3) \leq 10^{-8}$$



Тези резултати дават основание за разработване на алгоритъм за работа на Медиа конвертор - кодиращо устройство, което изпълнява функциите на bridge между активния източник на информативни сигнали MEg64.1+ и радиомодем 433LoRa_mesh. Същото устройство служи и като връзка между радиомодема в централната станция и операторската станция.



Фигура 4.16 Схема на разработения медиа-конвертор и периферен интерфейс

4.14.1 Протокол за обмен на данни (2 от 3)

Стандартът LoRa_mesh гарантира вероятност за колизия $<10^{-6}$. Това прави излишна оценката на вероятността за заемане на канала от повече от едно устройство в един и същи момент от времето. Поради това, по-долу се разглежда начина за допълнителното кодиране и декодиране на информацията. За да се опрости алгоритъма за кодиране и декодиране на информацията, като стандартен протокол за извличане на информативните величини от RTU или за декодиран обмен с операторската станция е избран един от най масовите – MODBUS RTU. Характерно за него е, че се поддържа от всички съвременни SCADA, RTU и PLC.

Медиа-конверторът е устройство с минимум два комуникационни канала. Единият е за директна връзка с операторската станция или RTU (директен канал), а вторият за връзка с радиомодема (кодиран канал).

Задачата на конвертора е след като получи съобщение (пакет данни) по директния канал да формира нов пакет данни с трикратно повтарящо се съобщение и да го предаде на комуникационния вход на радиомодема.

Ако е възникнало аварийно събитие и електропроводът е изключил, въз основа на текущите стойности на тока на късо съединение, регистрирани от защитата и според въведената база данни за вероятните зони, SCADA на операторската станция определя най-вероятния възел, който трябва да бъде изключен.

Да приемем, че това е възел V40. SCADA генерира запитване за информативните параметри (10 регистъра – фазни токове и напрежения и ток напрежение с нулева последователност, положение на комутационната апаратура и ниво на оперативното захранване) към RTU_V40 (HEX address 0x28).

При избрания протокол фреймът има следния вид в HEX формат:

[28][03][00][00][00][08][43][F5]

Конверторът приема съобщението по директния комуникационен порт и го преобразува в следната форма:

[51][28][03][00][00][00][08][43][F5][51][28][03][00][00][00][08][43][F5][51][28][03][00][00][08][43][F5],

т.е копира го три пъти, добавя стартов байт с ASCII код Q (0x51) (query) и го предава по втория (кодиран) комуникационен порт.

Тъй като радиопокритието е гарантирано, всички радиомодеми на RTU приемат съобщението, като в буфера за приети данни на конвертора то се интерпретира по следния начин:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
[51]	[28]	[03]	[00]	[00]	[00]	[08]	[43]	[F5]	(1)
[51]	[28]	[03]	[00]	[00]	[00]	[08]	[43]	[F5]	(2)
[51]	[28]	[03]	[00]	[00]	[00]	[08]	[43]	[F5]	(3)

Да приемем , че има двойна грешка , например , в байтове с номера 0 и 17.

Полученото съобщение ще има следният вид:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	
[11]	[28]	[03]	[00]	[00]	[00]	[08]	[43]	[F5]	(1)
[51]	[28]	[03]	[00]	[00]	[00]	[08]	[42]	[F5]	(2)
[51]	[28]	[03]	[00]	[00]	[00]	[08]	[43]	[F5]	(3)

Преди да се анализира истинността на фрейма на Modbus, започва проверката за съвпадение поне два от байтовете в съответните колони (0-8) в трите реда. Ако са намерени (в случая 9) съвпадения, се приема, че информацията в тях е достоверна!.

Конверторът формира достоверното съобщение:

[28][03][00][00][00][08][43][F5]

и го предава към RTU по основния (директния) канал.

След това вече в RTU се преминава към обработка на съответствието на данните с формата на избрания протокол.

След като питаното RTU разпознае въпроса, то отговаря в съответствие с протокола и регистрираните стойности на исканите величини със следния пакет данни в HEX формат:

[28][03][10][02][07][02][20][08][31][12][08][12][30][02][46][01][01][00][0D][7E][7C]

Конверторът приема съобщението по директния комуникационен порт и го преобразува в следната форма:

[41][28][03][10][02][07][02][20][08][31][12][08][12][30][02][46][01][01][00][0D][7E][7C][41][28][03][10][02][07][02][20][08][31][12][08][12][30][02][46][01][01][00][0D][7E][7C][41][28][03][10][02][07][02][20][08][31][12][08][12][30][02][46][01][01][00][0D][7E][7C],

т.е копира го три пъти, добавя стартов байт с ASCII код A (0x41) (answer) и го предава по втория (кодиран) комуникационен порт.

Всички радиомодеми на RTU и на операторската станция приемат съобщението, като в буфера за приети данни на *конвертора* то се интерпретира по следния начин:

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21		
[41]	[28]	[03]	[10]	[02]	[07]	[02]	[20]	[08]	[31]	[12]	[08]	[12]	[30]	[02]	[46]	[01]	[01]	[00]	[0D]	[7E]	[7C]	_____	(1)
[41]	[28]	[03]	[10]	[02]	[07]	[02]	[20]	[08]	[31]	[12]	[08]	[12]	[30]	[02]	[46]	[01]	[01]	[00]	[0D]	[7E]	[7C]	_____	(2)
[41]	[28]	[03]	[10]	[02]	[07]	[02]	[20]	[08]	[31]	[12]	[08]	[12]	[30]	[02]	[46]	[01]	[01]	[00]	[0D]	[7E]	[7C]	_____	(3)

Започва проверката за съвпадение поне два от байтовете в съответните колони (0-21) в трите реда.

Ако са намерени (в случая 22) съвпадения, се приема, че информацията в тях е достоверна!.

Конверторът формира достоверното съобщение:

[28][03][10][02][07][02][20][08][31][12][08][12][30][02][46][01][01][0][0D][7E][7C]

Данните в случая се обработват единствено от SCADA на операторската станция, като в зависимост от стойностите на величините се взема решение дали да се подаде команда за изключване, или да се потърси втория по степен на вероятност за авария обект.

Като се има предвид, че цялата описана процедура е с продължителност <50 ms, минималното време за определяне и изключване на повредения участък се свежда до 550ms (с времето за предаване на командата за изключване, необходимите минимални timeout's и тази за квитиране и изпълнение на операцията).

Ако е възникнало аварийно събитие и електропроводът е изключил, въз основа на текущите стойности на тока на късо съединение, регистрирани от защитата и според въведената база данни за вероятните зони, SCADA на операторската станция определя най-вероятния възел, който трябва да бъде изключен.

Глава 5. Заключение

В дисертационния труд са анализирани различни методи за откриване мястото на повредата в разпределителни мрежи средно напрежение. Основната насока на изследването е да се сведе до минимум времето за тази локализация, както и да се създадат възможности за бързо възстановяване на електрическото захранване на здравите участъци.

Най-често използваните средства са изследване на траекторията на импеданса, вълнови методи, ANN (изкуствени невронни мрежи), вълново базирана локализация, хибридни методи. Всеки подход има своите плюсове и минуси. Вълновият метод открива повредата, без да е необходима допълнителна инсталирана апаратура. Достатъчно е информацията от токовете трансформатори и подходящи алгоритми в дистанционните защиты. За съжаление е приложим основно при преносните електропроводи или неразклонени линии. По-усъвършенстваните техники като хибридният подход при използване на DWT и ANN за локализация. През последните 25 години при научните изследвания са въведени различни подходи, но все още е необходимо да се извърши значителна модификация на традиционните подходи, а различните традиционни компоненти трябва да се заменят с най-новото технологично оборудване, за да се повиши ефективността на системата и намаляване на безтоковата пауза до възможния минимум.

Разпределението на повредите за разглеждания тригодишен период е: L до G, 81.30%, L до L, 15.17%, 2L до G, 3.20%, LLL, 0.22%, до LLL G, 0,12% . Съществуващите средства за локализиране на повредата не позволяват бързото ѝ откриване и обикновено изключванията водят до необосновано дълги аварийни ситуации. Установено е, че общият брой изключени потребители (съответно икономически загуби) е: поради повреда- 49592689, поради изключване- 294469033, поради другите- 3961461. Общо изключените потребители през месец януари 2018 г. са 348023184. По същия начин през месец февруари общата загуба на потребители поради авария- 30922306.8, поради изключване- 214941011.4, поради други - 3118676.01. Общо изключените потребители през месец февруари 2018 г. са 248981994.2.

На базата на този статистически анализ е разработен и валидиран с експерименталните данни математически модел в MATLAB/Simulink на реалната линия. Извършени са серия моделни изследвания с цел разширяване на базата данни за съответствие между параметрите на повредата и местата на повреда. На базата на симулация са дефинирани и основните зони на вероятните места на аварията.

Получените резултати са използвани за разработване на алгоритъм за бърза локализация.

За по-бързото локализиране на повредения участък може да са приложи предлагания метод за предварителна оценка на вероятната зона на повредата (направена в глава 3) и адаптивност на алгоритмите в SCADA сървър за приоритети при определяне на изходната точка (с най-голямата вероятност за авария) при стартирането на процедурата за „разпитване“ на локалните устройства.

Стартовата процедура трябва да определи изходната точка чрез наслагване на изображенията на топологията на мрежата и изображенията на зоните с типични стойности на контролираните параметри за конкретен ти смущение.

Може да се направи аналогия с обучението на неврона мрежа по отношение на допълването и прецизирането на въведената база данни за зоните в реално време. Изходните стойности на създадената вече база са определени въз основа на направените в глава 2 и глава 3 статистически анализ и математическо моделиране. За да се изгради надеждна система са анализирани:

- възможните източници на информативни сигнали;
 - комутационната апаратура;
 - преносната среда и протоколите за обмен на информация,
- като се отчитат всички ограничителни условия за всеки един от компонентите.

Направени са изследвания и са намерени решения за използване на независима комуникационна среда с повишена надеждност (LoRa mesh), която осигурява достъп до всички необходими точки на IED SCADA. Дадена е възможност за използване на безплатен безжичен комуникационен канал, който спокойно може да се интерпретира като собственост на предприятието, без да са необходими големи инвестиции. За повишаване на надеждността при преноса на данните и за увеличаване на скоростта на обмена на данните е разработен частен протокол. Направени са изследвания и е доказано, че вероятността за грешка е $\leq 10^{-6}$.

Научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд

1. На базата на симулацията с разработения модел MATLAB / Simulink на електропровода в град Roha Town са определени зоните на вероятното местоположение на повредата.
2. Разработен е нов принцип и алгоритъм за локализация на мястото на повредата в мрежи средно напрежение. Въз основа на създадена база данни се определя най-вероятната зона за всеки тип аварии и съответно входната точка за разпитване на алгоритъма. За разлика от традиционните съвременни алгоритми времето за откриването на повредата и възстановяването на повредените участъци е сведено от 5-6 мин. до 60 сек.
3. Използвани са елементи на самообучението на невронна мрежа, като базата данни се обучава и самоорганизира.
4. Направено е изследване и е доказана възможността за използване на свободен комуникационен канал с гарантирана скорост и надеждност.
5. Разработен е частен комуникационен протокол с много малка вероятност за грешка $\leq 10^{-6}$ и осигуряване на достатъчно висока скорост за пренос на данни.

Списък на публикации на автора във връзка с дисертационния труд

1. Vikas Gaikwad, Angel Tcolov and Ivan Yatchev, "Analysis of typical faults in the real grid of 22 kV Roha town feeder (India)", Electrotechnica & Electronica E+E, Vol. 53. No 11-12/2018, pp. 279-284, ISSN 0861-4717
2. Vikas Gaikwad, "Switch Gear Choice in Real Grid by Zones of Typical Fault Strategy", International Journal of Computer Engineering and Applications, Volume XII, Special Issue, April 2018. ISSN 2321-3469
3. Vikas Gaikwad, Angel Tcolov and Ivan Yatchev, "Mathematical Modeling of Real Grid for Fault Analysis", International conference on High Technology for Sustainable Development (HiTECH 2018), 11-14 June 2018, Sofia, Bulgaria, DOI: 10.1109/HiTECH2018.8566258

Abstract

Vikas Gaikwad

INFORMATION MODEL AND ADAPTIVE MANAGEMENT SYSTEM FOR MEDIUM VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK IN THE RURAL AREA OF MAHARASHTRA, INDIA

Abstract of dissertation for acquiring of scientific and education degree “PhD”

CONTRIBUTIONS OF THE DISSERTATION

1. Based on the simulation with the MATLAB / Simulink pipeline model developed in the city of Roha Town, the areas of the probable location of the fault were identified.
2. A new principle and localization algorithm for the location of the fault in medium voltage networks has been developed. Based on a created database, the most probable area for each type of fault and the entry point for interrogation of the algorithm is determined. Unlike conventional modern algorithms, the time for detecting damage and restoring damaged areas is reduced from 5-6 min to 60 sec.
3. Elements of self-learning of a neural network are used, and the database is trained and self-organized.
4. A study has been carried out and the possibility of using a free communication channel with guaranteed speed and reliability has been proven.
5. A private communication protocol with a very low error probability of less than 10^{-6} and providing a sufficiently high data rate has been developed.