

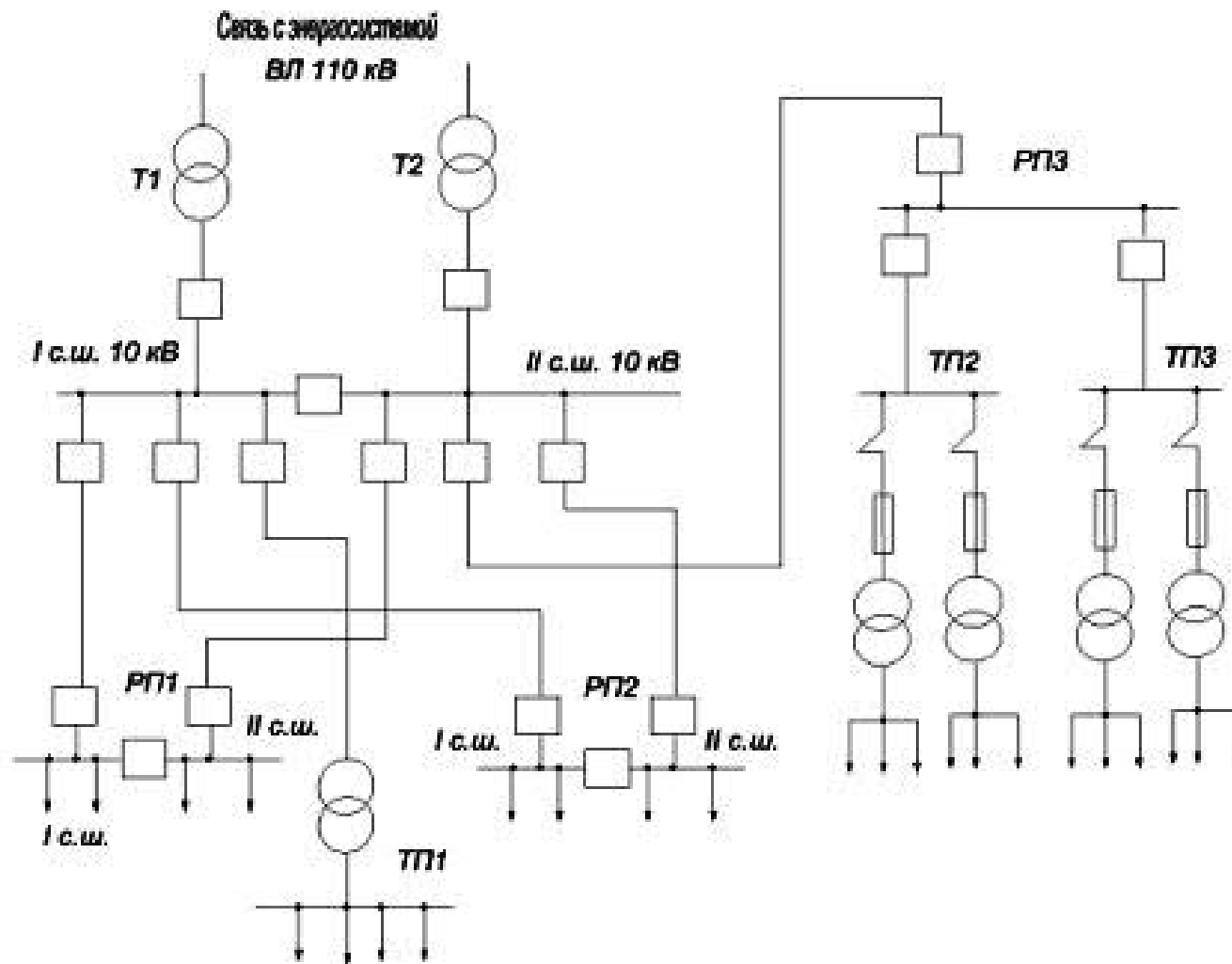
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Шушпанов Илья Николаевич

**АКТИВНЫЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ, ПРОБЛЕМЫ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Иркутск 2020

Состояние исследований



Традиционная схема электроснабжения

Состояние исследований

Разработка математических моделей и методов оценки надежности распределительной электрической сети и выбора мероприятий по ее повышению

Оценка надежности

Выбор мероприятий по повышению надежности

Требуется развитие математических моделей и методов в связи с появлением новых устройств (реклоузеры и др.), новых подходов к эксплуатации (реконфигурация сети), установок распределенной генерации, множества субъектов отношений с разными интересами, более жестких требований потребителей к надежности электроснабжения и др.

Цель и задачи исследований

Разработка математических моделей и методов оценки надежности распределительной электрической сети и выбора мероприятий по ее повышению

Оценка надежности

- Развитие математической модели надежности распределительной электрической сети (РЭС) с учетом новых факторов и средств (реконфигурация, режимы, учет работы защит и др.).
- Формализация и разработка топологического метода оценки надежности РЭС.
- Интеграция стандартных и разработанных автором компьютерных программ при реализации математической модели и метода оценки надежности РЭС, а так же выбора мероприятий по её повышению.

Выбор мероприятий по повышению надежности

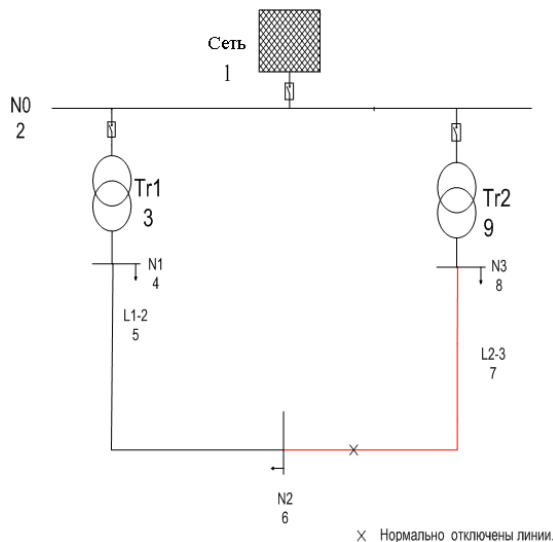
- Разработка метода выбора мероприятий по повышению надежности РЭС.
- Исследование методов выбора мероприятий по развитию РЭС с учетом надежности и неопределенности информации.
- Обоснование рекомендаций по выбору рационального варианта развития РЭС.

Особенности математической модели оценки надежности распределительной электрической сети

- **Моделирование отказов-восстановлений элементов РЭС простейшим Марковским случайным процессом при постоянных значениях интенсивностей отказов и восстановлений элементов.**
- **Моделирование отказов силовых элементов РЭС с использованием правил надежности $n-1$ и $n-2$.**
- **Учет режимов работы РЭС путем расчета потокораспределения и контроля допустимости напряжений в узлах и токов в линиях.**
- **Учет возможности реконфигурации РЭС в послеаварийных режимах для повышения надежности электроснабжения потребителей.**
- **Расчет показателей надежности элементов (частота отказов, продолжительность отказов, вероятность отказа) и схемы в целом (средняя частота отказов, средняя продолжительность отказов, средняя готовность).**

Матрично-топологический метод расчета показателей надежности РЭС

Тестовая схема



Матрица соединений сети

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	2	1	0	0	0	0	0	1
3	0	1	2	1	0	0	0	0	0
4	0	0	1	2	1	0	0	0	0
5	0	0	0	1	2	1	0	0	0
6	0	0	0	0	1	2	1	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0
8	0	0	0	0	0	0	1	2	1
9	0	1	0	0	0	0	0	1	2

Матрица отказов элементов по критерию n-1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	0	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	0	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	0	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	0	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	0	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Матрица состояний схемы до реконфигурации

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0	1	1	1
5	1	1	1	0	0	0	1	1	1
6	1	1	1	1	0	0	1	1	1
7	1	1	1	1	1	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	0	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	0	1
10	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Матрица состояний схемы после реконфигурации

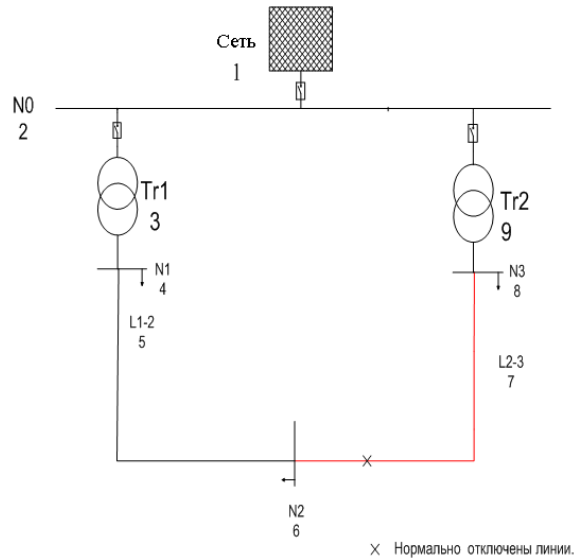
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	0	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	0	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	0	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	0	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	0	1
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Матрица времени восстановления элементов

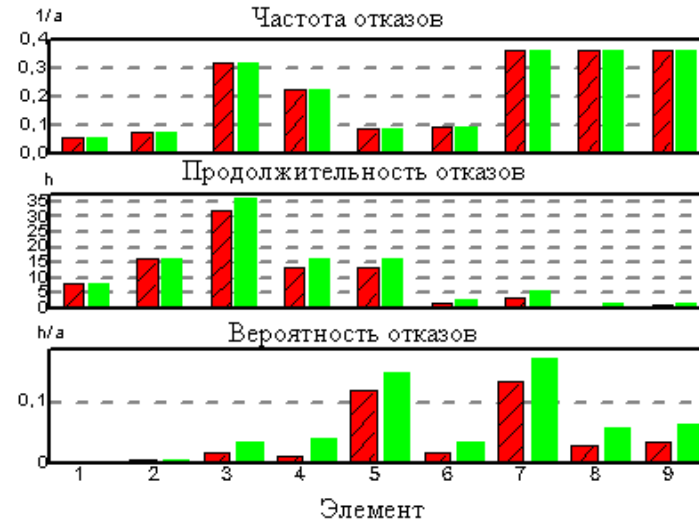
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	8	8	8	8	8	8	0	8	8
3	0	16	16	16	16	16	0	16	16
4	0	0	68	0,5	0,5	0,5	0	0	0
5	0	0	0	16	0,5	0,5	0	0	0
6	0	0	0	0	14	0,5	0	0	0
7	0	0	0	0	0	16	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	16	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0,5	6

Показатели надежности элементов и схемы в целом для тестовой схемы

Тестовая схема



Показатели надежности элементов



Показатели надежности РЭС

Показатель средней частоты отказов

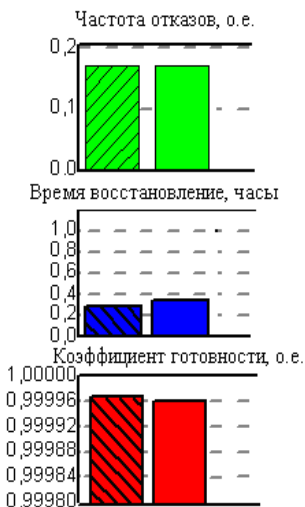
$$\omega = \frac{\text{Общее число повреждённых элементов}}{\text{Общее число потребителей}} = \frac{\sum_i (F_{O,i} \cdot N_i)}{\sum_i N_i}$$

Показатель средней продолжительности отказов

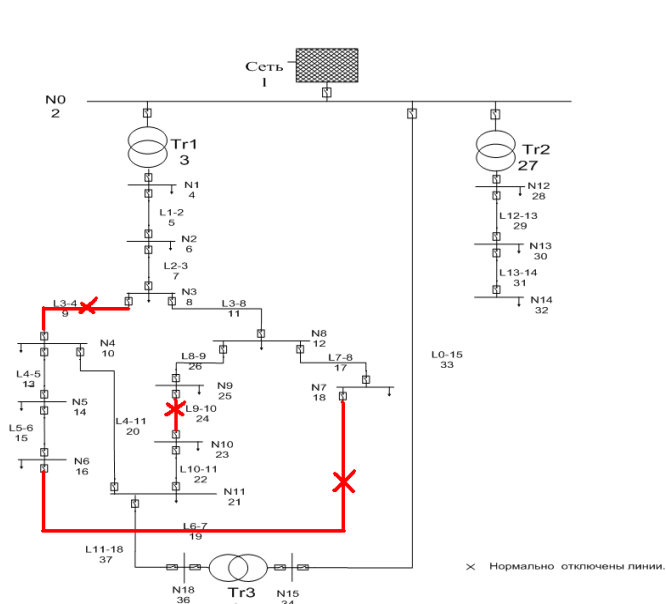
$$t_{\text{в}} = \frac{\text{Сумма продолжительности отказов элемента}}{\text{Общее число потребителей}} = \frac{\sum_i (Pr_{O,i} \cdot N_i)}{\sum_i N_i}$$

Показатель средней готовности

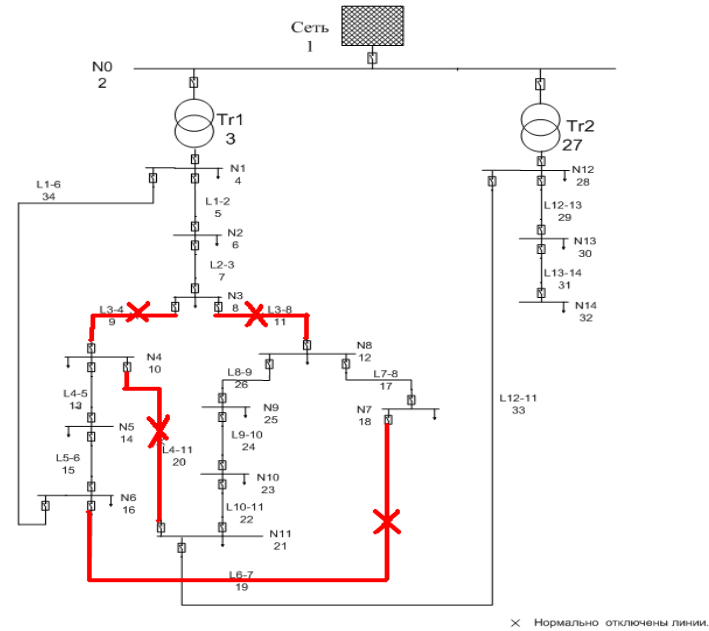
$$k_{\text{г}} = \frac{\text{Количество часов работы элементов}}{\text{Количество часов за период}} = \frac{\sum_i (N_i \cdot 8760) - \sum_i (Pr_{O,i} \cdot N_i)}{\sum_i (N_i \cdot 8760)}$$



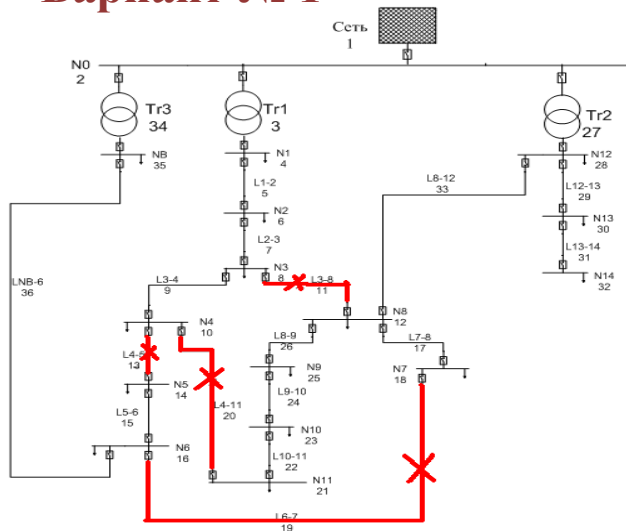
Варианты схем распределительной электрической сети с целью выбора наиболее рационального варианта с учетом неопределенности и многокритериальности



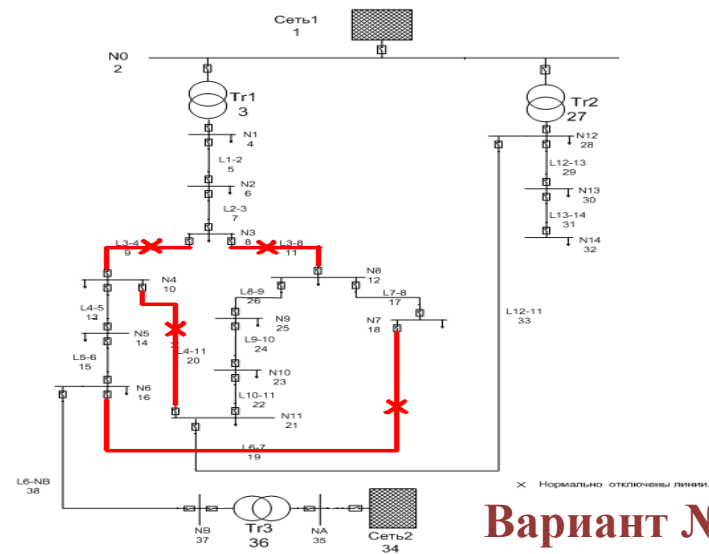
Вариант № 1



Вариант № 2

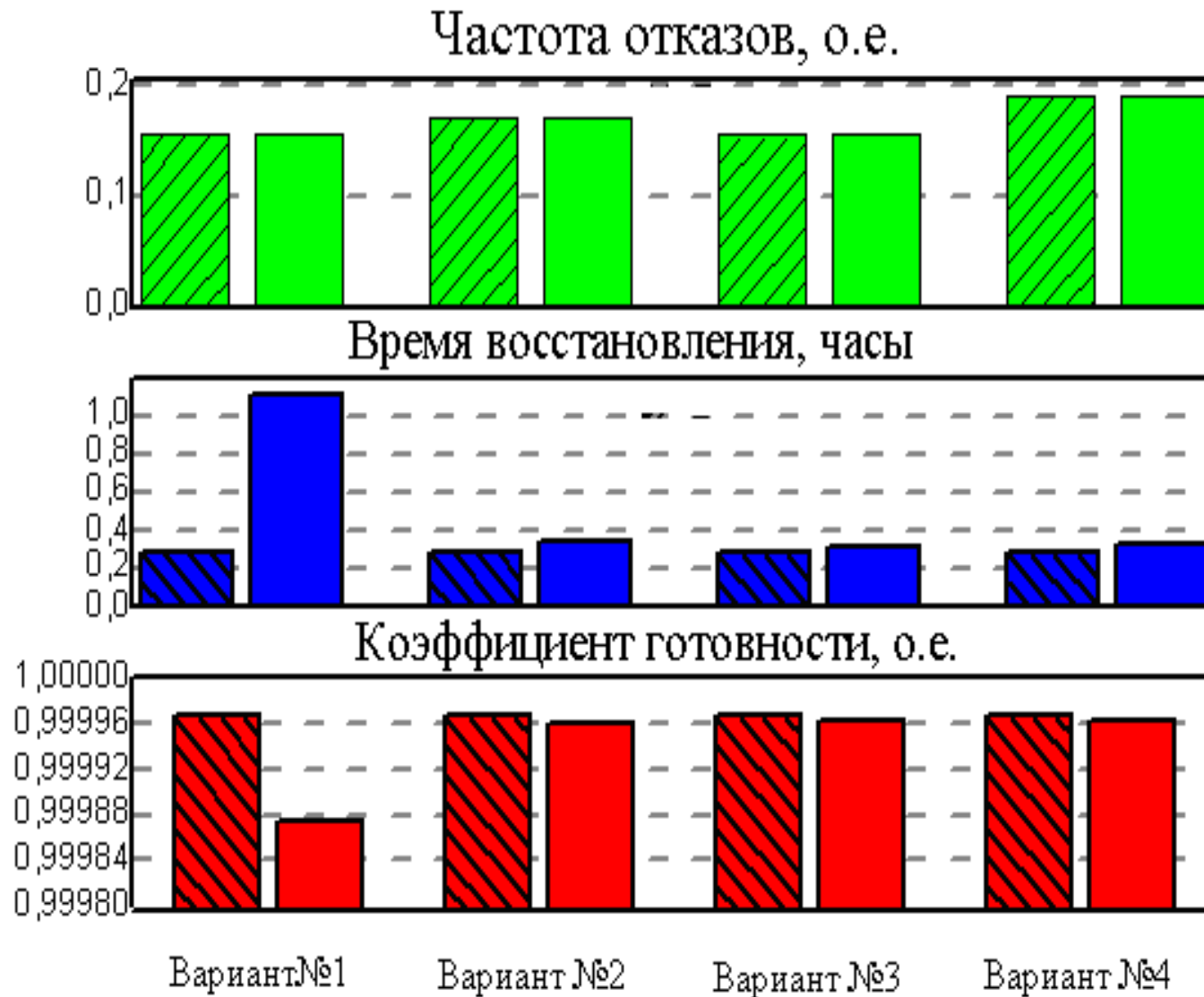


Вариант № 3



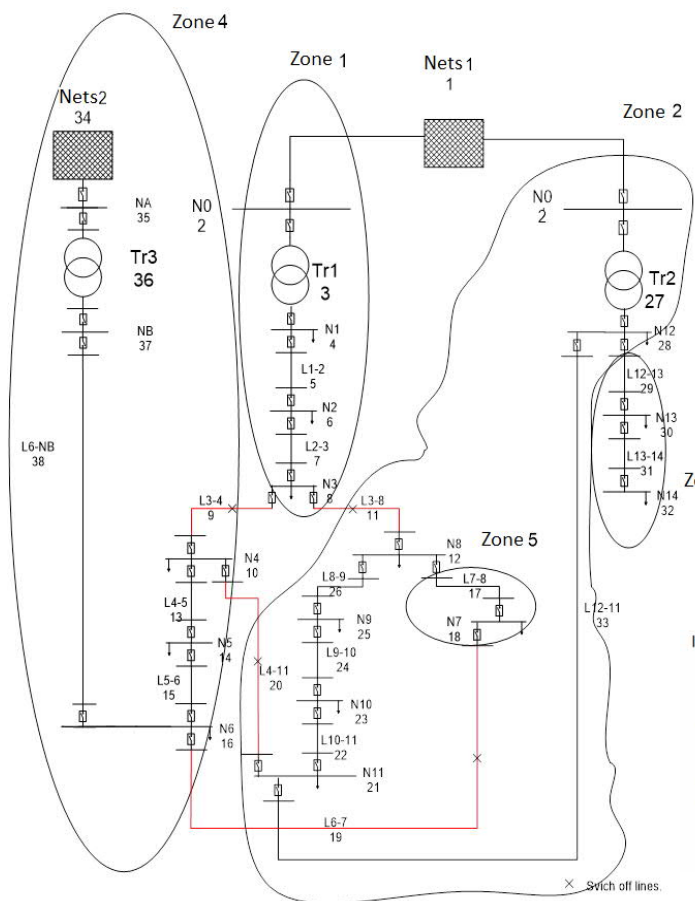
Вариант № 4

Показатели надежности вариантов схем



Модель размещения датчиков тока в распределительной электрической сети

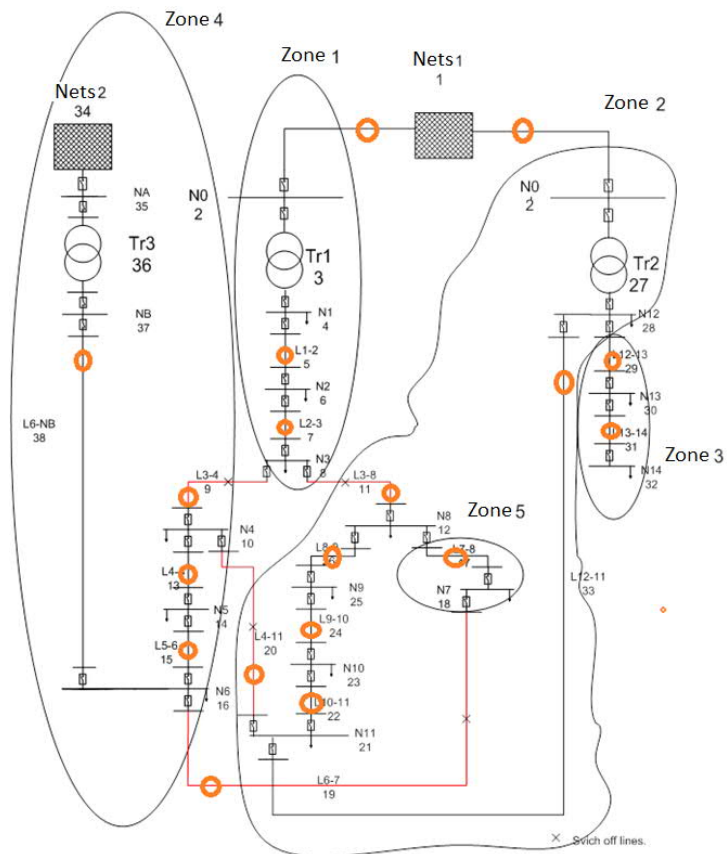
Распределительная электрическая сеть с моделью управления



Электрическая распределительная сеть с датчиками

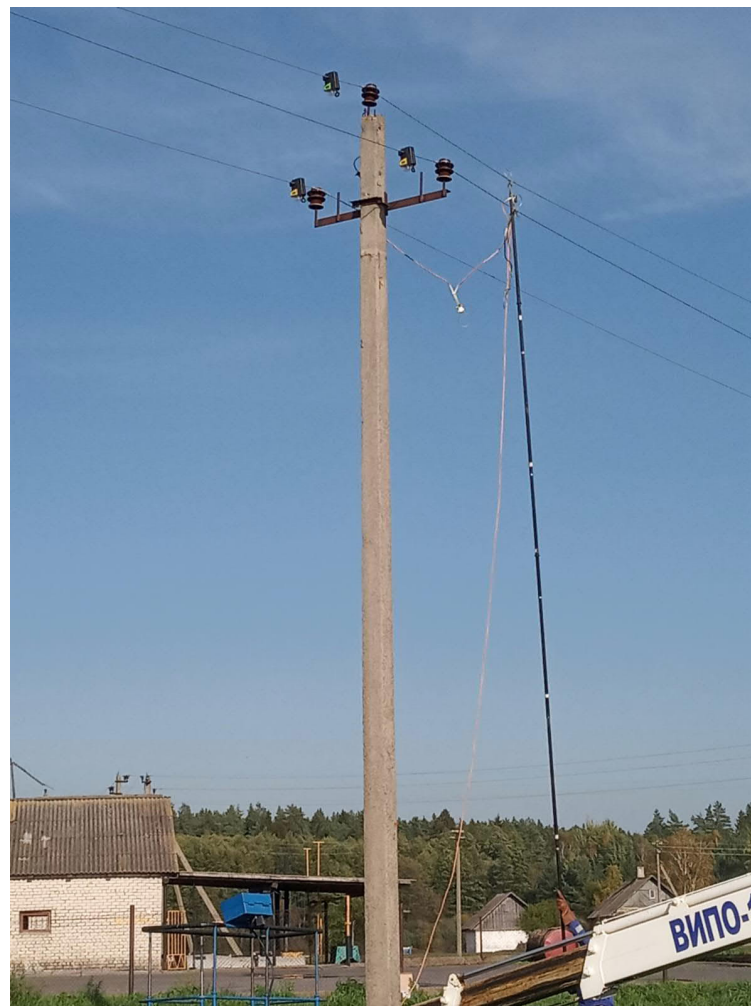


IEC-61850
IEC-60870



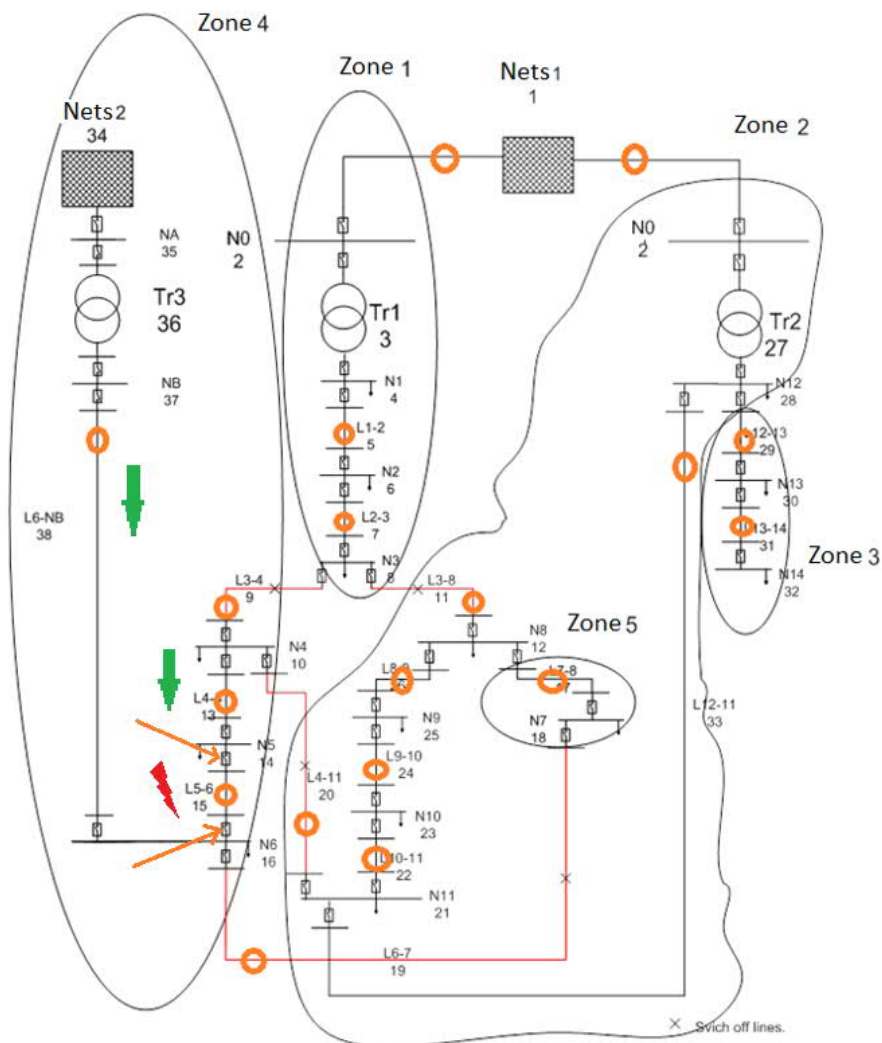
Модель размещения датчиков тока в распределительной электрической сети

Размещение датчиков



Модель размещения датчиков тока в распределительной электрической сети

Электрическая распределительная сеть в аварийной ситуации (идеальный вариант)



ГИБКОСТЬ

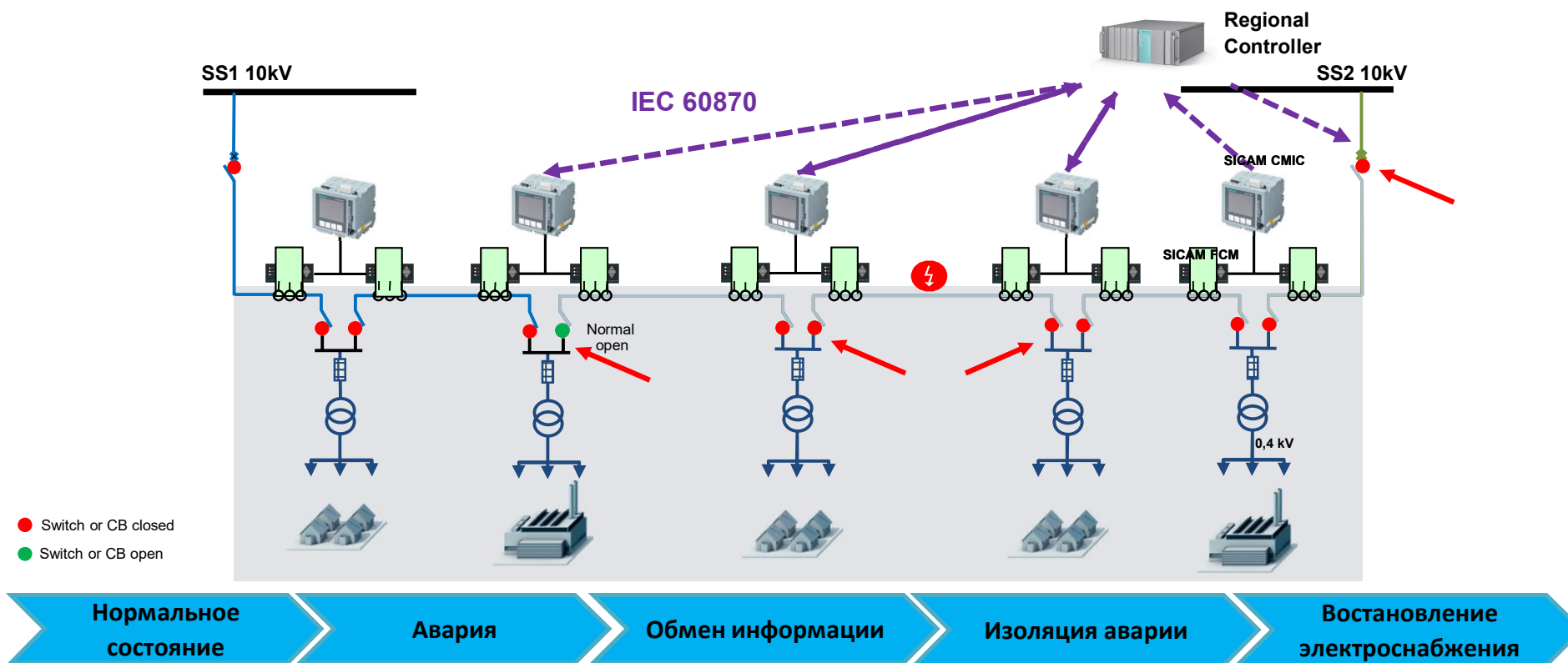
Использование моторного привода для разъединителей

Наличие резерва

Возможность дистанционным управлением

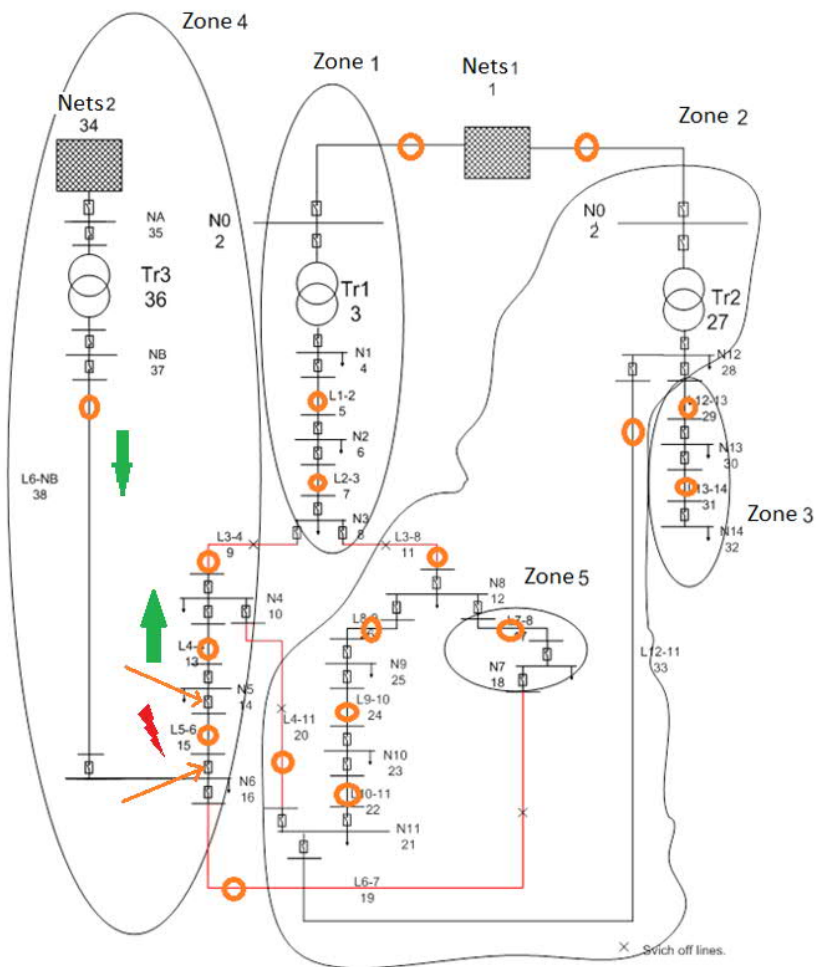
Наличие цифровых датчиков

Пример работы датчиков и дистанционного управления, для восстановления электроснабжения



Модель размещения датчиков тока в распределительной электрической сети

Электрическая распределительная сеть в аварийной ситуации (вероятное событие)



Неверная информация о измерении

Потеря сигнала

Измененный сигнал



Ошибки



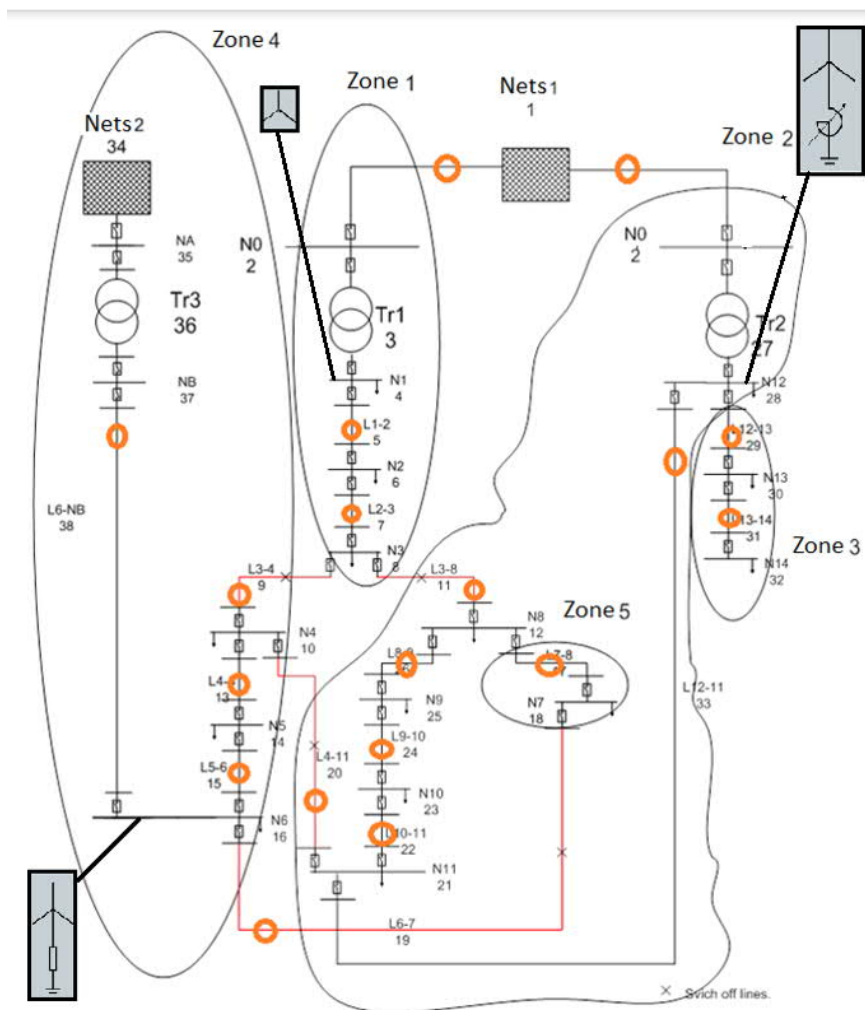
Помехи



Нарушения

Не верная информация до
30%

Проблема гибкости распределительной электрической сети



Изолированная работа
нейтрали

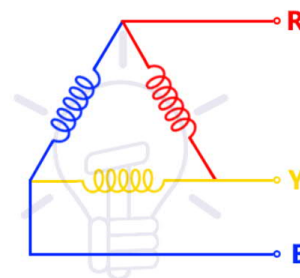
Нейтраль в распределительной
электрической сети может
работать в режиме

- Изолированной
- Перекомпенсации
- Недокомпенсации
- В резонансе

$$I_C = 3 \cdot U_F \cdot \omega \cdot C_f \cdot 10^{-6}$$

$$I_C = 2,7 \cdot U_L \cdot L \cdot m \cdot 10^{-3}$$

Delta (Δ)



Основные результаты

- Сформулирована математическая модель надежности распределительной электрической сети (РЭС) с учетом новых факторов и средств (реконфигурация, режимы, учет работы защит и др.).
- Разработан топологический метод оценки надежности РЭС.
- Интегрированы стандартные и разработанные автором компьютерные программы для реализации математической модели и метода оценки надежности РЭС и выбора мероприятий по ее повышению.
- Разработан метод выбора мероприятий по повышению надежности РЭС.
- Исследован метод выбора мероприятий по развитию РЭС с учетом надежности и неопределенности информации.

Спасибо за внимание!

ilis83@mail.ru

Шушпанов Илья Николаевич

К.т.н. Доцент кафедры

электроснабжения и

электротехники ИРНИТУ