

Результаты сравнения SNR для изображений из тестовой выборки для объектов воздуха и крупной гальки представлены в табл. 2. (Данные по SNR представлены усреднены для 3х изображений).

Таблица 2. Результаты сравнения SNR для обучающих данных

|                                        | Воздух | Галька |
|----------------------------------------|--------|--------|
| Изображение с усреднением 1            | 1,66   | 4,98   |
| Изображение с усреднением 4            | 2,94   | 8,71   |
| Изображение с усреднением 1 после BM3D | 5,94   | 14,75  |
| нейросеть                              | 5,45   | 16,05  |

В ходе проделанной работы реализована часть программного обеспечения по восстановлению высококачественных деталей для отдельных объектов на изображениях и проведено сравнение их результатов с результатами, полученным при шумоподавлении исходных изображений методом BM3D.

Значения SNR для объектов воздуха и гальки у 1-й вариант нейросети на тестовой выборке составили 5,45 и 16,05 соответственно, что достаточно близко к значениям от обработки изображений с усреднением 1 методом BM3D (воздух – 5,94, галька – 14,75). Помимо этого, использование 1-го варианта нейросети улучшило качество границ и мелких деталей на тестовых изображениях в отличие от BM3D. Исходя из этого данную нейросеть можно использовать для уменьшения времени сканирования похожих образцов, применяя её к изображениям с усреднением 1. Среднее время предсказания одного изображения размерами 2048×2048 для нейросети составило 0,13 с в то время как для метода BM3D это заняло 6,12 с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов М.К., Бурлин Ю.К., Калмыков Г.А. Петрофизические методы исследования кернового материала. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 2008. – 115 с.
2. Digital Rocks // Browse Projects. 2024. – URL: [www.digitalrocksporal.org/projects/](http://www.digitalrocksporal.org/projects/) (дата обращения 18.11.2024).
3. Зиньков А.В., Макишин В.Н. Цифровизация керна. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2023. – 73 с.
4. Python package index // bm3d 4.0.1. 2024. – URL: <https://pypi.org/project/bm3d/> (дата обращения 18.11.2024).
5. Kaggle // UNet for Building Segmentation (PyTorch). 2020. – URL: <https://www.kaggle.com/code/balraj98/unet-for-building-segmentation-pytorch> (дата обращения 18.11.2024).

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА БАЗЕ ПАК RTDS

Д.И. Шахнович

Томский политехнический университет, ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ41

Научный руководитель: А.Б. Аскаров, к.т.н., старший преподаватель ОЭЭ ИШЭ ТПУ

В связи с постоянным развитием электрических сетей актуальной проблемой остается переход действующих объектов электросетевого хозяйства на более эффективные устройства защиты. Результаты данной работы могут быть использованы при проверке устройств релейной защиты (РЗ), что положительно отразится на надежности энергосистемы. Преимущество современных систем релейной защиты, кроме измерения и контроля совокупности параметров сети, в том, что они дополнительно оснащаются вычислительными комплексами и различными пользовательскими интерфейсами, включёнными в микропроцессорные терминалы.

В данной работе будет рассматриваться блок микропроцессорной релейной защиты БМРЗ-51 производства НТЦ «Механотроника», г. Санкт-Петербург. Блок модульной релейной защиты предназначен для установки в различных электрических устройствах для защиты от ненормальной работы сети с напряжением 6–10 кВ [6].

Данный блок является программируемым устройством с «гибкой логикой» и двухуровневым ПО. Такая гибкость и настраиваемость делают этот блок удобным и эффективным средством обеспечения надежной релейной защиты в различных условиях и на различных объектах энергетики [6].

Симулятор RTDS позволяет проводить тестирование как в разомкнутом, так и в замкнутом цикле с реальными условиями работы, что обеспечивает максимально точное моделирование силовых электронных схем.

С помощью симулятора RTDS возможно тщательно изучать влияние новых установок на электрическую сеть, обучать персонал без риска для реальной системы, проверять блоки управления генераторами и проводить тестирование систем защиты в режиме реального времени. Это позволяет создавать безопасные и эффективные сети электропередачи, а также обеспечивает проверку и анализ взаимодействия различных устройств и реле [10],[11].

Общая схема для тестирования в замкнутом цикле релейной защиты представляет собой методику, используемую для проверки и настройки систем релейной защиты электроэнергетических систем в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации.

Для проверки выбранных функций защит, таких как: ТО; МТЗ; ЛЗШ; ОЗЗ; ЗОФ; АПВ, скомпонована схема электрической сети (рис. 1). В качестве защищаемого объекта была выбрана ЛЭП 10,5 кВ ПС2 – ПС3.

Для создания данной модели в ПК «RSCAD/Draft» использовались такие модели как:

- модель синхронной машины;
- модель силового трансформатора;
- модели элементов шин, линий электропередач, выключатели;
- модель ШБМ и пассивной нагрузки;
- ветвь короткого замыкания.

Для проведения симуляции используется программа управления в режиме реального времени RSCAD/RunTime.

Построив графики напряжения и токов в узлах установки БМРЗ-51, найдем действующие значения (графики тока и напряжения в узлах приведены на рис. 2).

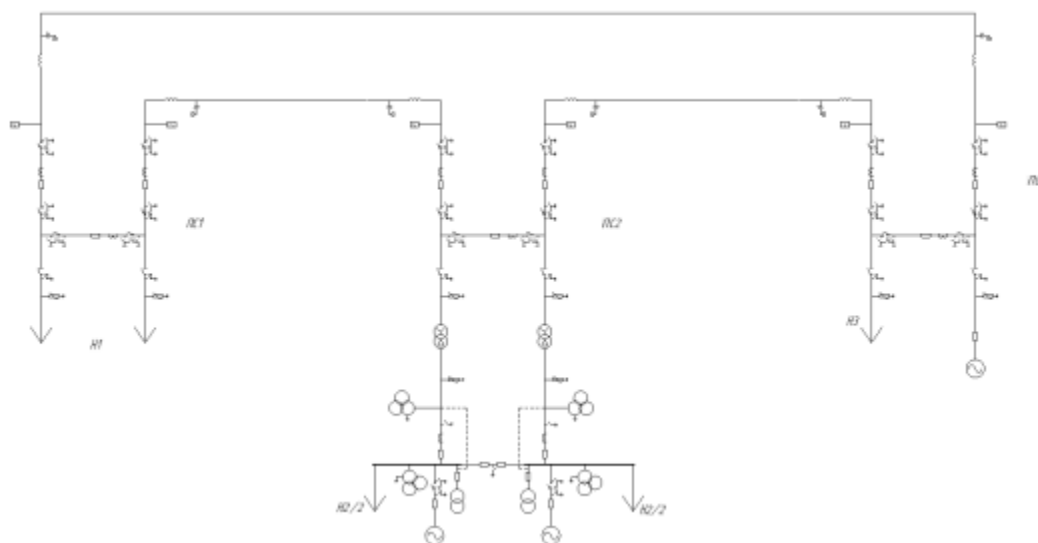


Рис. 1. Схема электрических соединений

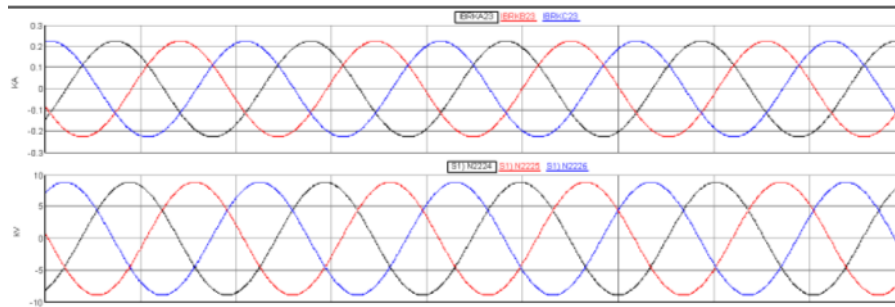


Рис. 2. График напряжения и тока в узлах в УР

Для отображения значений напряжений на шине используется трехфазный измеритель действующих значений (RMS). На рис. 3 изображен измеритель на виртуальном стенде непрерывно обновляющий значения на шине ПС2.

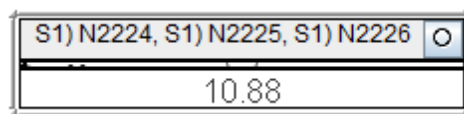


Рис. 3. Измеритель напряжения на шине в УР

Для внесения значений уставок в БМРЗ-51 необходимо первичные значения перевести во вторичные [6]. Для этого примем значение коэффициент ТТ для фазных токов  $\frac{400}{5}$ , тока нулевой последовательности коэффициент ТТ  $\frac{100}{1}$ . Коэффициент ТН  $\frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 100}$ . На рис. 4–5 представлены значения, внесенные в блок БМРЗ-51.

| Коэффициенты трансформации | Значение |           | Комментарий                                             |
|----------------------------|----------|-----------|---------------------------------------------------------|
|                            | В блоке  | В проекте |                                                         |
| Ктр Ia                     | ?        | 80        | Коэффициент трансформации трансформатора тока фазы А    |
| Ктр Ic                     | ?        | 80        | Коэффициент трансформации трансформатора тока фазы С    |
| Ктр 3I0                    | ?        | 100       | Коэффициент трансформации трансформатора тока 3I0       |
| Ктр 3U0                    | ?        | 181       | Коэффициент трансформации трансформатора напряжения 3U0 |

Рис. 4. Коэффициенты трансформации

Внесение уставок ТО в БМРЗ во вторичных значениях рис. 5.

| Уставка    | Программа 1                         |                                     | Программа 2              |                          | Комментарий                                          |
|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|
|            | В блоке                             | В проекте                           | В блоке                  | В проекте                |                                                      |
| S101       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Ввод первой ступени ТО                               |
| 1.0 TO PT1 | 8.21                                | 8.21                                | 3.00                     | 3.00                     | Уставка по току срабатывания первой ступени ТО, А    |
| S102       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | Ввод второй ступени ТО                               |
| 1.0 TO PT2 | 7.12                                | 7.12                                | 2.50                     | 2.50                     | Уставка по току срабатывания второй ступени ТО, А    |
| TO T2      | 0.40                                | 0.40                                | 0.30                     | 0.30                     | Уставка по времени срабатывания второй ступени ТО, с |

Рис. 5. Уставки ТО

При вводе в работу зависимой времятоковой характеристики время срабатывания первой ступени МТЗ определяется в зависимости от выбранной времятоковой характеристики.

При возникновении трехфазного КЗ при нормальной нагрузке на ЛЭП на расстоянии 8 км от ПС 2, БМРЗ зафиксировала осциллограмму, рис. 6. Также на осциллограмме можем видеть снижение значение тока КЗ, что привело к перезапуску первой ступени МТЗ и отсчета времени времятоковой характеристики.

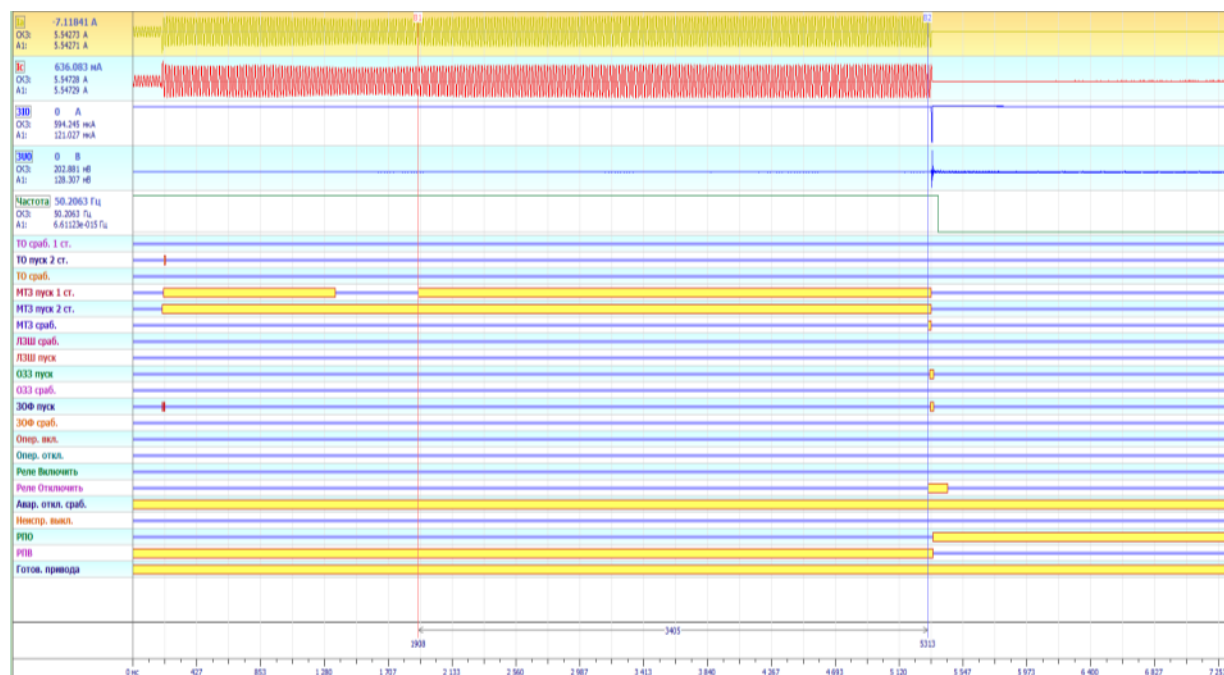


Рис. 6. Осциллограмма при возникновении трехфазного КЗ в середине ЛЭП при нормальном режиме

Время срабатывания защиты по осциллограмме:  $t_x = 3,405$  с.

Найдем время срабатывания первой ступени МТЗ при введенной в работу инверсной времятоковой характеристики по формуле (1) [6].

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_{с.з.}}\right)^{0,02} - 1} \cdot K = \frac{0,14}{\left(\frac{6,18}{5,56}\right)^{0,02} - 1} \cdot 0,05 = 3,31 \text{ с.} \quad (1)$$

Так же стоит отметить, ток КЗ это среднее значение тока на протяжении времени выдержки времятоковой характеристики.

Пределы допускаемой абсолютной/относительной основной погрешности по времени срабатывания для ступеней с зависимыми времятоковыми характеристиками для  $1,2 \leq I / I_{с.з.} \leq 20$ : при  $t \leq 1$  с составляют не более  $\pm 30$  мс, при  $t > 1$  с составляют не более 5 %. Погрешность расчетного и измеренного времени вычислим по формуле (2) [6].

$$\Delta t = \frac{t_x - t}{t} \cdot 100 \% = \frac{3,405 - 3,31}{3,31} \cdot 100 \% = 3,02 \%. \quad (2)$$

Погрешность не превышает теоретическое значение, МТЗ с времятоковой характеристикой работает исправно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Копьев В.Н. Релейная защита. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011.
2. Чернобровов Н.В. Релейная защита. – 5-е изд., перераб. – Москва: Энергия, 1974. – 679 с.: ил.
3. Кривенков В.В. Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 328 с., ил.
4. Дьяков А.Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2017.
5. Никитин А.А. Нелинейные элементы электронных и микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики. – Чебоксары, 2021. – 108 с.
6. Руководство по эксплуатации: Блок микропроцессорный релейной защиты БМРЗ / НТЦ «Механотроника». – Санкт-Петербург, 2023. – 109 с.

7. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 375 с.: ил.
8. Серебряков А.С., Семенов Д.А., Чернов Е.А. Автоматика: учебник и практикум для вузов; под общ. Ред. А.С. Серебрякова. – 2-е изд. – Москва: Юрайт, 2021. – 476 с.
9. Испытательные системы серии «РЕТОМ» и их применение для проверки устройств релейной защиты и автоматики: учебное пособие / С.М. Юдин [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011.
10. Руководство по эксплуатации и настройке RTDS. – Чебоксары, 2015. – 311 с.

## **ПРИКЛАДНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ**

**Г. Поспелов**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5А13*

Научный руководитель: В.В. Гречушников, Старший преподаватель, ОЭЭ

### **Введение**

В настоящее время на большинстве предприятий прогнозирование энергопотребления осуществляется в «ручном» режиме, когда прогноз проводится аналитическим методом одним из сотрудников предприятия на основе прогнозов погоды, представленных провайдером, и фактических данных. Простейших арифметических операций недостаточно для обеспечения требований точности, которые устанавливают современные тенденции развития цифровых технологий и подходы к технико-экономическому управлению.

Эффективным решением данной задачи является уход от человеческого ресурса к автоматизированной математической модели, прогнозирующей графики энергопотребления за необходимый период. Такой подход к прогнозированию позволяет сократить время и повысить точность прогнозирования.

Любой потребитель электроэнергии при планировании доходов и расходов всегда учитывает объем потребляемой электроэнергии, и, соответственно финансы на оплату запланированных объемов потребленной энергии. При отклонении фактического объема потребленной электроэнергии от запланированного, возникают дополнительные финансовые расходы, которые необходимо покрывать, что приводит к незапланированному росту расходов.

Таким образом, решение данной проблемы является актуальной для потребителя с финансовой точки зрения, а с точки зрения энергосбытовой компании знание объемов энергопотребления на ближайший период позволяет заранее подготавливаться к часам максимальной и минимальной нагрузки. Тем самым более эффективно управлять режимом электростанции и снижать издержки при производстве электроэнергии.

### **Выбор нейронной сети для решения поставленной задачи**

В табл. 1 приведены примеры поставленных задач и соответствующие ИНС, способные частично или полностью решить поставленную задачу.

Обучение – одно из главных преимуществ искусственных нейронных сетей перед традиционными инструментами моделирования и прогнозирования. В процессе обучения НС способна на основе переданных ей данных («опыт прошлых лет») вырабатывать новые. Однако полагаться только на определённую нейронную сеть, например, Кохонена или Перцетрон не стоит.