

УДК 620.9

АНАЛИЗ РАБОТЫ ЗАЩИТЫ СЕТИ 110 кВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Ермолаев А.В., магистрант гр. ЭиЭм-1805, I курс

Научный руководитель: Соловьева А.С., старший преподаватель
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Вятский государственный университет»
г. Киров

Единая энергосистема России включает в себя более 2,5 млн км линий электропередачи всех классов напряжений. При этом 95% протяженности распределительных сетей выполнено воздушными линиями. Для передачи и распределения электрической энергии большой мощности применяются воздушные линии напряжением 110 кВ, обеспечивающие стабильность электроснабжения и возможность подключения различных потребителей, включая промышленные предприятия, жилые районы и сельскохозяйственные хозяйства, нуждающиеся в надежном энергоснабжении для функционирования техники продукции [3].

Сети 110 кВ представляют собой системы с эффективно заземленной нейтралью. Они оснащены релейной защитой от многофазных замыканий и замыканий на землю, срабатывающей мгновенно при коротком замыкании в любом месте защищаемого участка [4]. Короткие замыкания классифицируются на устойчивые, сохраняющиеся после отключения поврежденной цепи, и неустойчивые, исчезающие после отключения [2].

В данной работе исследуется радиальный участок сети. Такие линии обычно имеют значительную протяженность и подвержены влиянию внешних факторов, включая погодные условия, ветровые нагрузки и загрязнение изоляции. Исходные параметры сети включают напряжение системы 110 кВ, сопротивление системы $0,129 + j6,430$ Ом, воздушную линию типа АС-120 длиной 62 км с сопротивлением $14,125 + j24,222$ Ом и емкостью 0,525 мкФ, а также нагрузку $15 + j6$ МВА. Схема данного участка представлена на рисунке 1, демонстрируя основные элементы и взаимосвязь между ними. Радиальные линии широко применяются, поскольку позволяют сравнительно просто организовать подачу электроэнергии к удаленным потребителям.

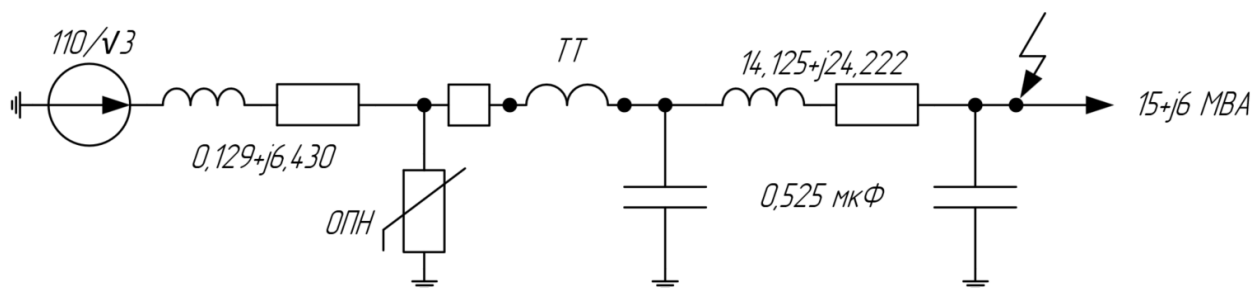


Рисунок 1 – Исходная схема

Исследуемая сеть была смоделирована в программной среде MATLAB/Simulink, позволяющей анализировать работу системы в различных режимах и оценивать эффективность защитных механизмов. В модели реализована токовая защита в виде токовой отсечки с уставкой 1 кА, основанная на логической схеме устройства микропроцессорной защиты [6], что представлено на рисунке 2. При разработке модели учитывались такие параметры, как полное время отключения элегазового выключателя, составляющее 0,055 с, а также автоматическое повторное включение (АПВ), активируемое через 0,3 с [1] после отключения выключателя. Это позволяет оперативно восстанавливать подачу электроэнергии, снижая риск длительных перерывов в работе.

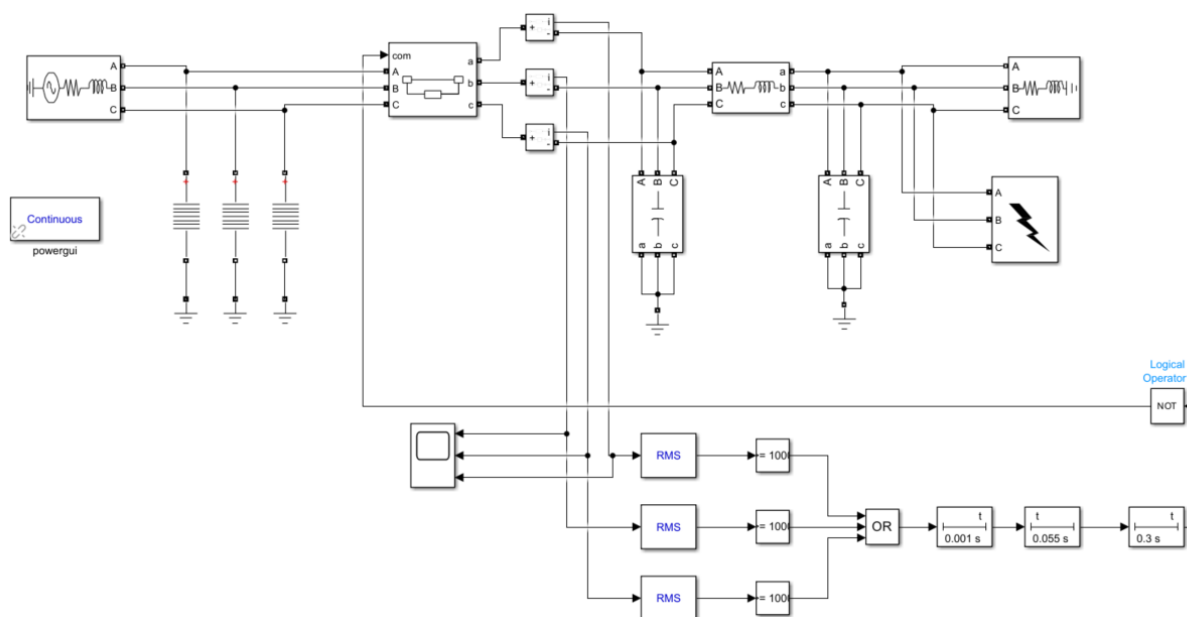


Рисунок 2 – Модель сети в программной среде MATLAB/Simulink

Рассмотрены несколько режимов работы сети, представленные с соответствующими осциллограммами:

Нормальный режим (рис. 3) – отсутствуют КЗ, выключатель включен. Параметры сети находятся в штатных пределах. В этом режиме все элементы работают согласно проектным характеристикам, обеспечивая стабильное электроснабжение. Все элементы сети работают в номинальном режиме, нагрузка распределяется равномерно, защита не срабатывает.

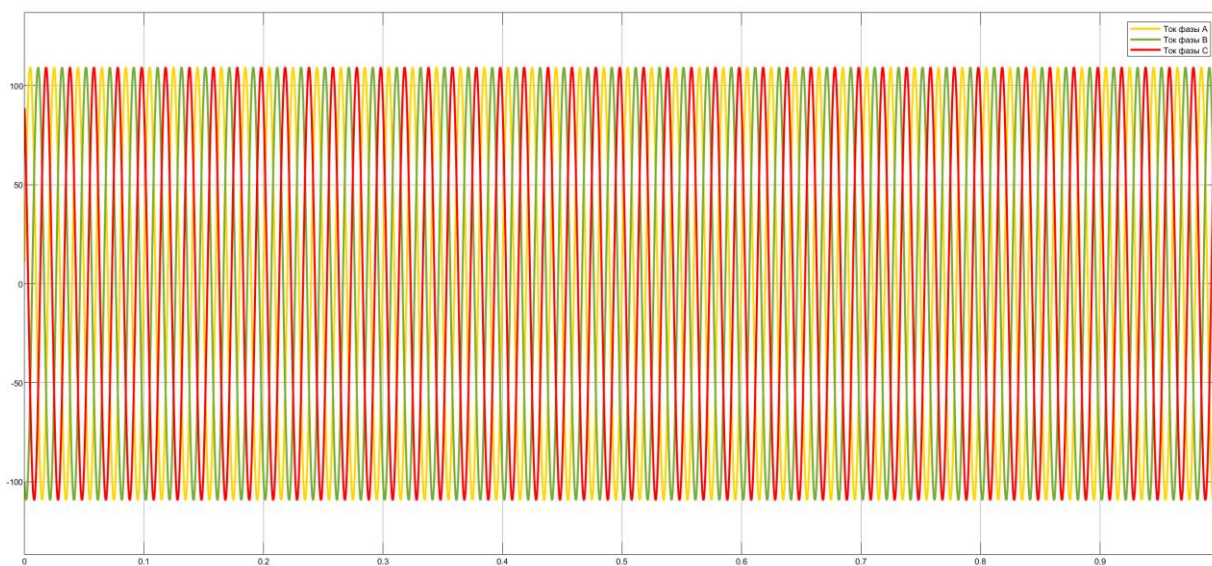


Рисунок 3 – Осциллограмма токов нормального режима

Однофазное неустойчивое КЗ (рис. 4) – возникает кратковременный ток короткого замыкания, самоустраниющийся после отключения выключателя. АПВ успешно восстанавливает питание после исчезновения замыкания [5]. Защита срабатывает корректно, отключает поврежденный участок, а затем повторное включение восстанавливает подачу энергии без необходимости ручного вмешательства.

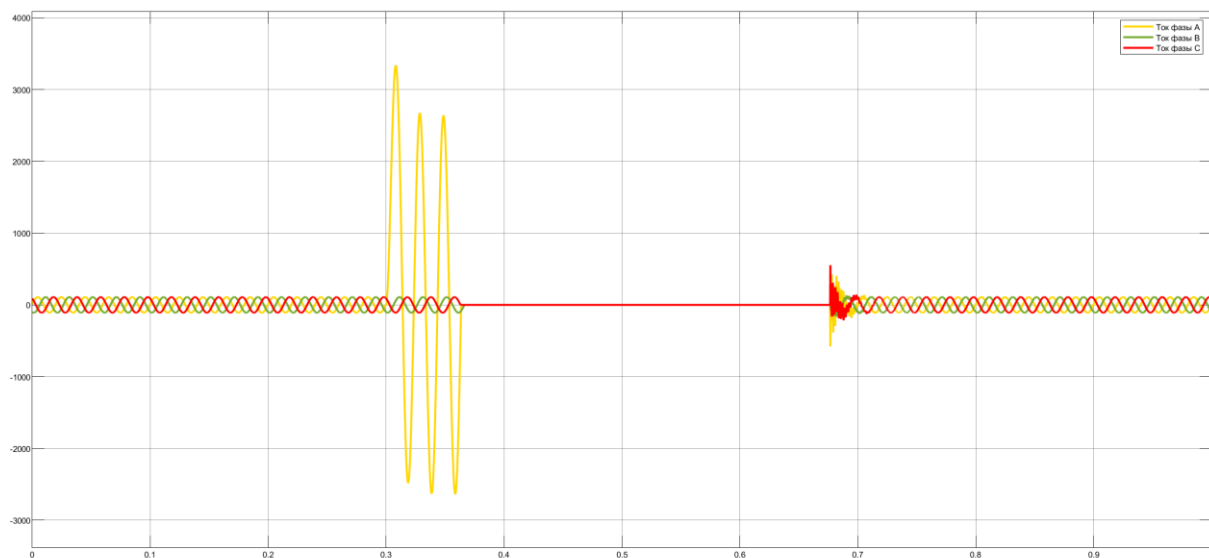


Рисунок 4 – Осциллограмма токов однофазного неустойчивого КЗ

Однофазное устойчивое КЗ (рис. 5) – после отключения выключателя короткое замыкание сохраняется, требует вмешательства оператора. АПВ не восстанавливает питание, так как повреждение остается. В таких случаях требуется обследование линии, выявление и устранение причины повреждения, так как автоматическое восстановление невозможно.

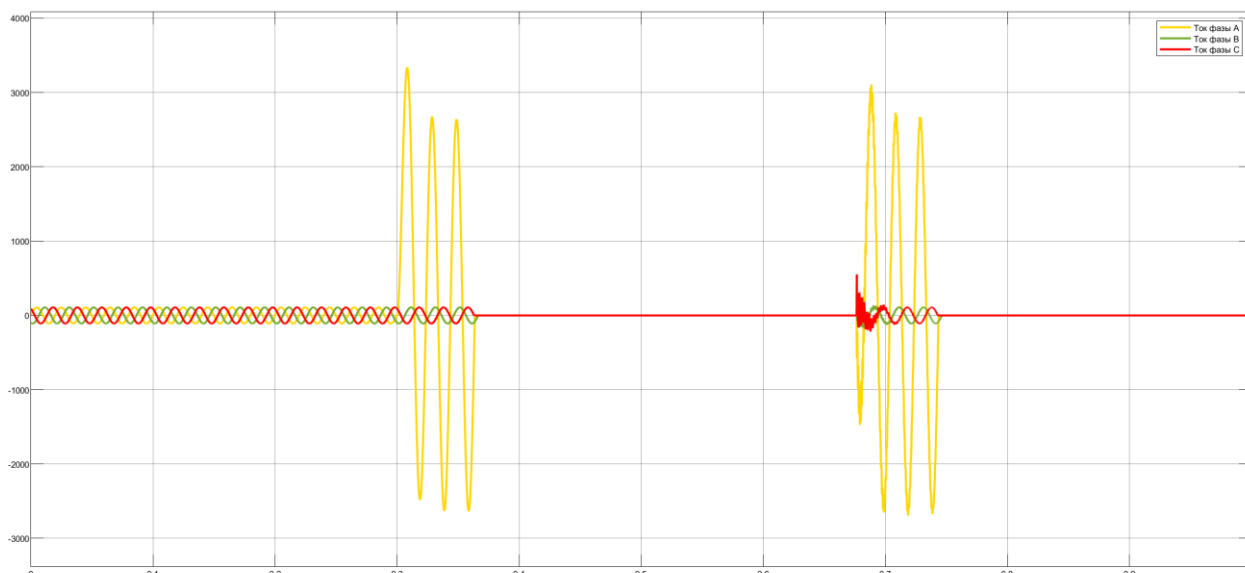


Рисунок 5 – Осциллограмма токов однофазного устойчивого КЗ

Трехфазное устойчивое КЗ (рис. 6) – аварийный режим с высокими токами короткого замыкания, требует немедленного отключения поврежденного участка. АПВ не срабатывает из-за продолжительного повреждения. Данный режим является наиболее опасным, так как сопровождается большими токами и возможными разрушениями оборудования. Требуется оперативное устранение повреждений.

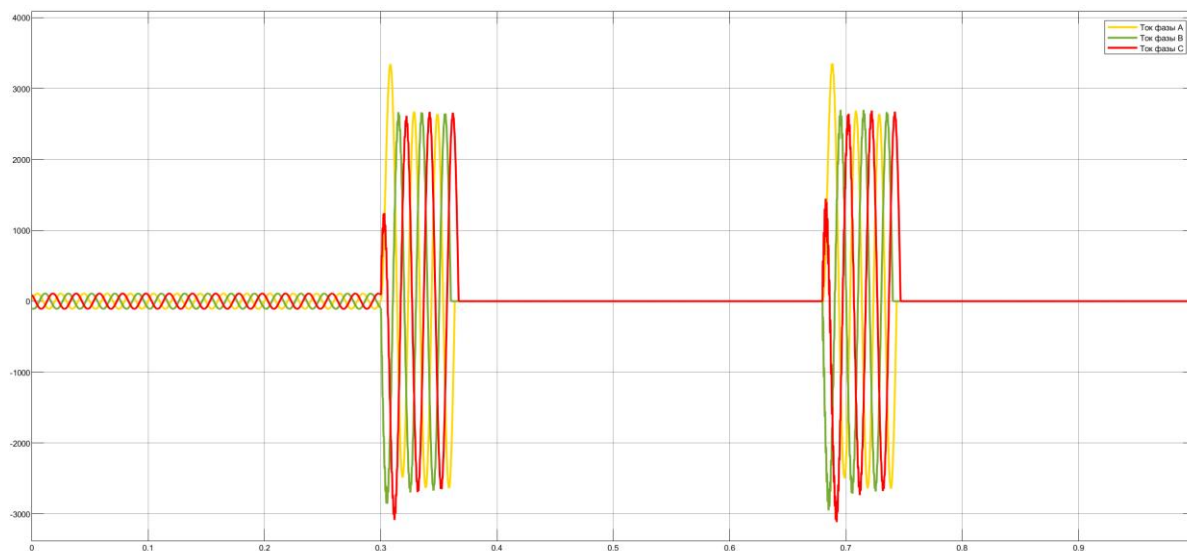


Рисунок 6 – Осциллограмма токов трехфазного устойчивого КЗ

Трехфазное неустойчивое КЗ (рис. 7) – кратковременный аварийный процесс, устраняющийся самостоятельно после отключения выключателя. АПВ успешно восстанавливает подачу энергии. Данный режим характерен для временных воздействий, таких как атмосферные явления. АПВ позволяет быстро вернуть линию в работу без длительных простоев.

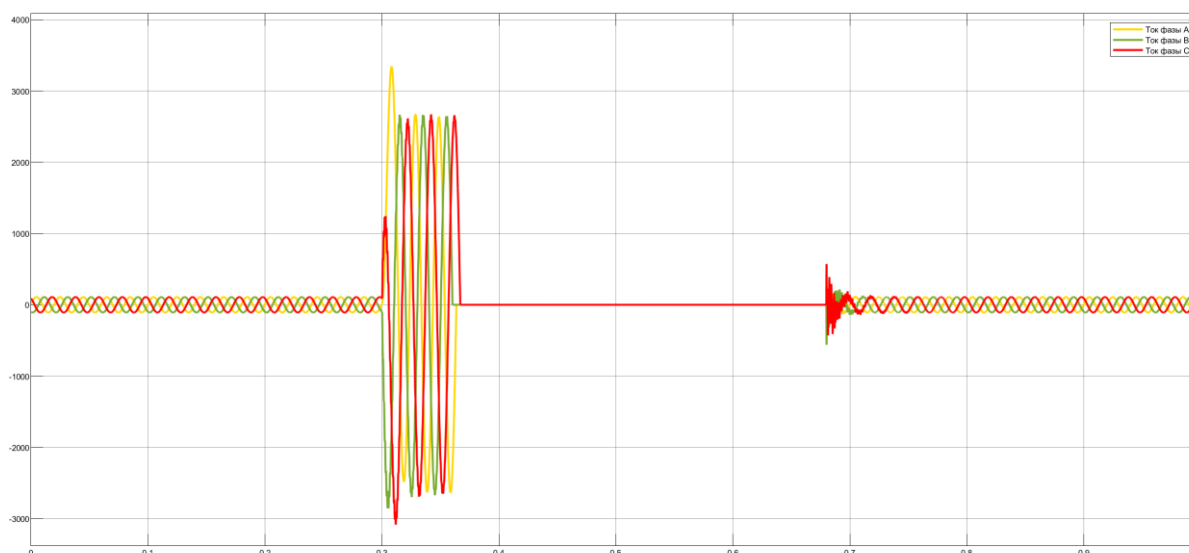


Рисунок 7 – Осциллограмма токов трехфазного неустойчивого КЗ

Закключение. В нормальном режиме работа сети стабильна, параметры соответствуют расчетным значениям. Нагрузки равномерно распределяются, защита не срабатывает. В случае неустойчивого КЗ защита успешно отключает поврежденный участок, после чего происходит автоматическое восстановление питания. Это предотвращает долгосрочные отключения и минимизирует ущерб потребителям. Устойчивые КЗ требуют дополнительного анализа и оперативного вмешательства для устранения аварии. В таких случаях необходимо провести диагностику линии, выявить и устранить причину неисправности. В трехфазных КЗ наблюдаются наиболее опасные токи повреждения, что требует немедленного отключения аварийного участка. Высокие токи короткого замыкания могут приводить к повреждению оборудования и повышенным рискам возгораний. Внедрение современных систем защиты, включая микропроцессорные реле, позволяет повысить надежность работы сети и минимизировать время отключения потребителей.

Список литературы:

1. Дюкин, И. Р. Особенности сельских электрических сетей / И. Р. Дюкин, А. В. Братухин, А. И. Сидоров // Вестник Вятского ГАТУ. – 2023. – № 4(18). – С. 15-23. – EDN BVFWBQ.
2. Правила устройства электроустановок / Главгосэнергонадзор России. 7-е изд. М.: Изд-во ЗАО "Энергосервис", 2007. 610 с.
3. ГОСТ 26522-85. Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. Переиздание 2005. М. : Стандартинформ, 2006.
4. Сириус-3-ЛВ-03 // АО «РАДИУС Автоматика» URL: <https://www.rza.ru/catalog/rezervnie-zashiti-i-auv-prisoedineniy-110-220-kv/sirius-3-lv-03.php?ysclid=m7rxbdsdgg8848754409> (дата обращения: 22.02.2025).
5. ВГТ-110 (У1, УХЛ1*) Выключатель элегазовый колонковый (трехполюсное/однополюсное исполнение) // ЗАО «ЗЭТО» Завод электротехнического

оборудования URL: <https://zeto.ru/vgt-1/?ysclid=m7n6lc56ci348937764> (дата обращения: 22.02.2025).

6. Сидоров, А. И. Анализ причин возникновения аварийных режимов в сетях напряжением 6-35 КВ / А. И. Сидоров, И. Р. Дюкин // Вестник Вятского ГАТУ. – 2024. – № 4(22). – С. 69-73. – EDN TQUYVT.