УДК 620.92: 621.316.925 DOI: 10.34031/ES.2022.4.004

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ НА РАБОТУ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Крынова Е.К., Валиуллин К.Р.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Аннотация

В статье рассматривается вопрос влияния солнечных электростанций на работу устройств релейной защиты и автоматики. Осуществлена разработка имитационных моделей электроэнергетических систем в среде Simulink MATLAB для трех случаев: питание осуществляется полностью от солнечной электростанции; питание осуществляется от традиционного источника электроэнергетической системы; питание осуществляется частично от солнечной электростанции, частично от традиционного источника электроэнергетической системы. Выполнено описание основных параметров блоков имитационной модели. Также проведено исследование влияния возобновляемых источников энергии на чувствительность релейной защиты, которая напрямую зависит от уровня токов короткого замыкания. Построены графики зависимости тока двухфазного короткого замыкания от времени. Сделан вывод об уменьшении чувствительности релейной защиты при наличие солнечной электростанции в электроэнергетической системе. Полученные результаты позволяют производить расчеты параметров различных режимов работы системы, результаты которых можно использовать для настройки устройств релейной защиты и автоматики.

Ключевые слова: *релейная защита и автоматика, возобновляемые источники энергии, короткое замыкание, электроэнергетическая системы, коэффициент чувствительности, солнечная электростанция.*

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF POWER PLANTS WITH RENEWABLE ENERGY TO WORK RELAY PROTECTION AND AUTOMATION IN POWER SYSTEM

Ekaterina Krynova, Kamil Valiullin

Federal state budgetary educational institution of higher education "Orenburg State University"

Abstract *The article deals with the issue of the influence of solar power plants on the operation of relay protection and automation devices. The development of simulation models of electric power systems in the Simulink MATLAB environment has been carried out for three cases: power is supplied entirely from a solar power plant; power is supplied from the traditional source of the electric power system; the power is supplied partly from the solar power plant, partly from the traditional source of the electric power system. The description of the main parameters of the blocks of the simulation model is made. A study was also made of the influence of renewable energy sources on the sensitivity of relay protection, which directly depends on the level of short-circuit currents. Graphs of the dependence of the two-phase short circuit current on time are plotted. The conclusion is made about the decrease in the sensitivity of the relay protection in the presence of a solar power plant in the electric power system. The results obtained make it possible to calculate the parame-*

ters of various operating modes of the system, the results of which can be used to configure relay protection and automation devices.

Keywords: *relay protection and automation, renewable energy sources, short circuit, electric power systems, sensitivity coefficient, solar power plant.*

Введение

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – это перспективно развивающиеся направление электроэнергетики. Особое место в ВИЭ занимает генерация электроэнергии при помощи солнечных электростанций (СЭС). В исследованиях [1, 2, 3] показано, что ВИЭ неблагоприятно влияют на релейную защиту и автоматику (РЗиА) в электроэнергетической системе (ЭЭС). Рассмотрим данную проблему при помощи имитационной модели ЭЭС в среде Simulink MATLAB, подробно рассмотренной в статье [4].

Материалы и методы

В представленной работе используется в качестве ВИЭ солнечная электростанция, моделирование которой осуществляется при помощи стандартного блока из библиотеки MATLAB PV array [5]. Одним из показателей функционирования РЗиА, на который влияют ВИЭ, является чувствительность, которая напрямую зависит от уровня токов КЗ. Для исследования данной проблемы необходимо сравнить величину тока короткого замыкания (КЗ) на приёмных шинах в трех случаях:

– питание осуществляется от традиционного источника ЭЭС (электрические станции, атомные электростанции, тепловые электростанции);

– питание осуществляется полностью от СЭС;

– питание осуществляется частично от СЭС, частично от традиционного источника ЭЭС.

Для моделирования двухфазного КЗ применяются блоки Three-Phase Fault, расположенные после каждого трансформатора 10/0,4 кВ перед трехфазной нагрузкой, которая имеет активно-индуктивный характер.

В данной системе моделируются КЗ в различных точках, указанных на однолинейной схеме на рис. 1.

Результаты

1. Питание осуществляется от традиционного источника ЭЭС

В результате моделирования системы был построен график зависимости тока от времени (рис. 2). Моделирование КЗ производилось в разные промежутки времени с небольшим интервалом для каждой из точек КЗ.

2. Питание системы осуществляется полностью от СЭС мощностью 8 МВА

На рис. 3 представлена модель СЭС. На рис. 4 изображена однолинейная схема с СЭС. Модель СЭС состоит из четырех фотоэлектрических массивов. Массив выдает максимум 2000 кВт и состоит из 1280 параллельных элементов, каждый из которых состоит из 5 модулей SunPower SPR-315E, соединенных последовательно. Параметры блока PV array указаны в табл. 1. Постоянное напряжение, генерируемое солнечными панелями, преобразуется в переменное при помощи блока инвертора VSC (Average Model).

График зависимости тока двухфазного КЗ от времени представлен на рис. 5.

3. Питание осуществляется частично от СЭС, частично от традиционного источника ЭЭС

График зависимости тока двухфазного КЗ от времени представлен (рис. 6).

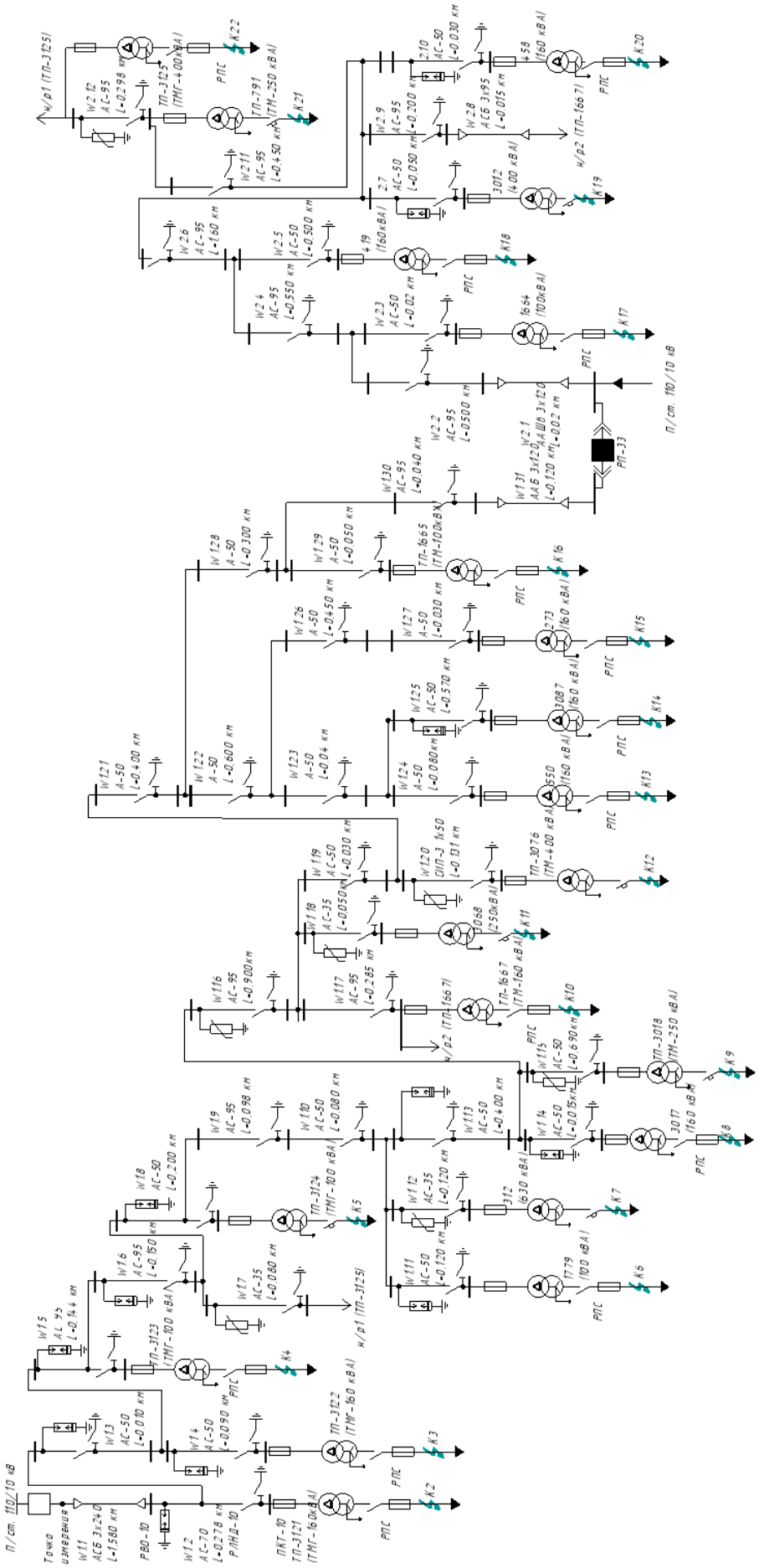

Рис. 1. Однолинейная схема ЭЭС

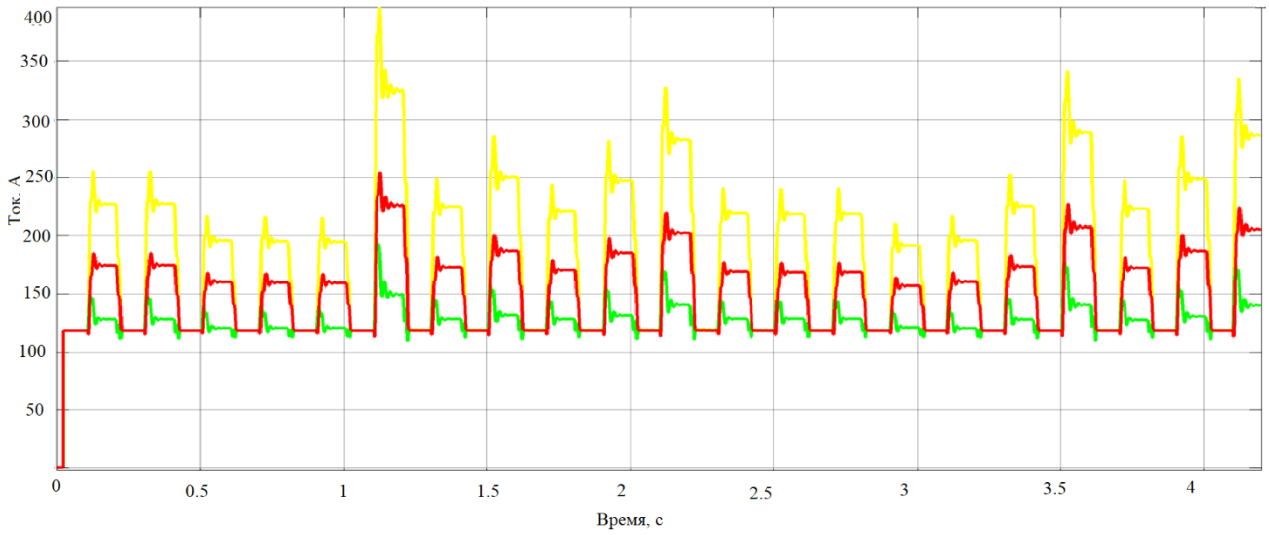

Рис. 2. Зависимости тока двухфазного короткого замыкания от времени с традиционным источником ЭЭС – 8МВт

Таблица 1

Параметры блока PV array

Параметр	Величина
Параллельные элементы (шт)	1280
Последовательно соединенные модули (шт)	5
Тип модуля	SunPower SPR-315E
Максимальная мощность (Вт)	315,072
Количество ячеек в одном модуле (шт)	96
Напряжение холостого хода (В)	64,6
Ток короткого замыкания (А)	6,14
Напряжение при максимальной мощности (В)	54,7
Ток при максимальной мощности (А)	5,76
Температурный коэффициент напряжения холостого хода (%/C°)	-0,2727
Температурный коэффициент тока короткого замыкания (%/C°)	0,061743
Сопротивление шунта (Ом)	430,0666
Последовательное сопротивление (Ом)	0,43041

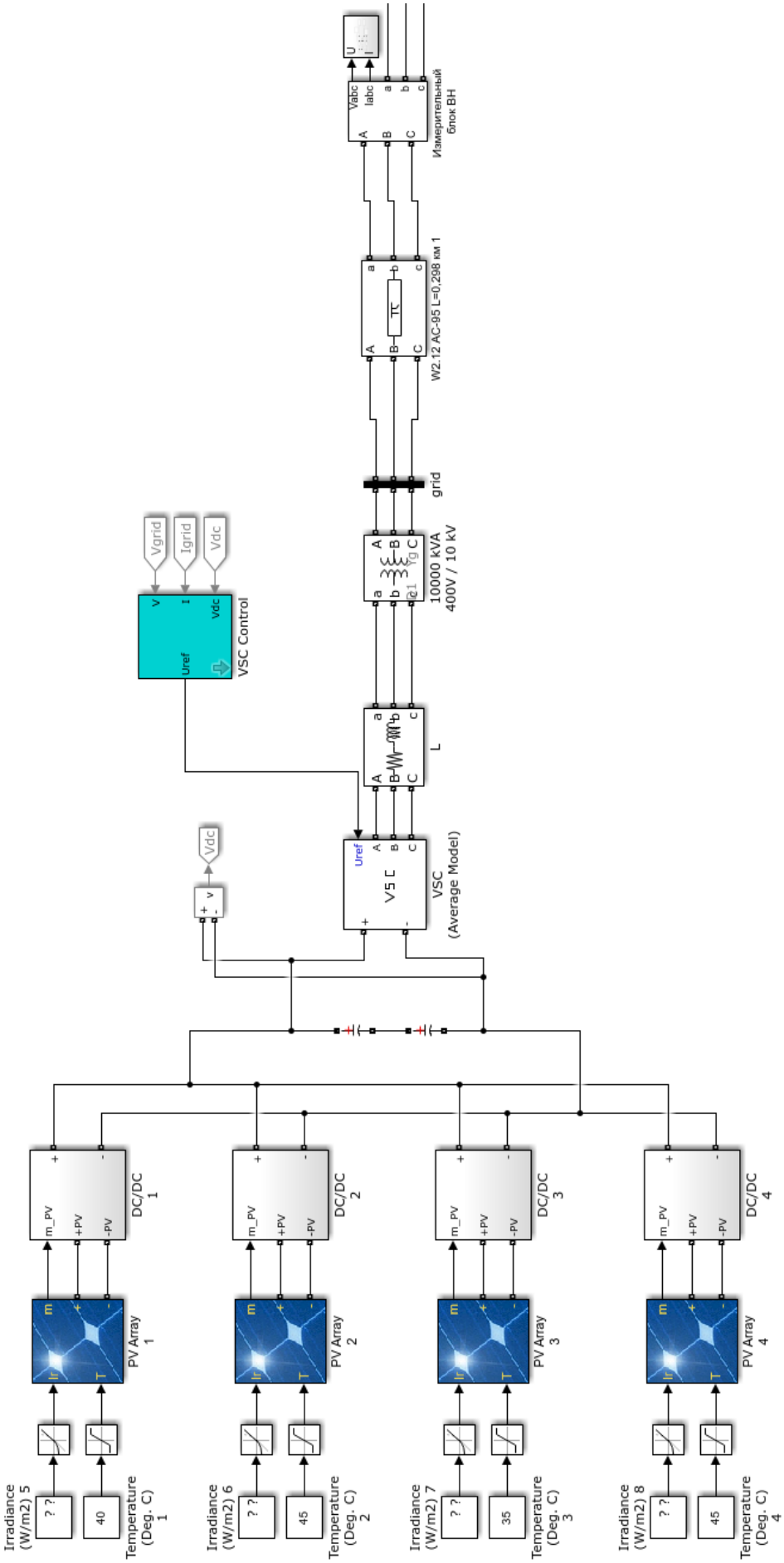

Рис. 3. Модель СЭС

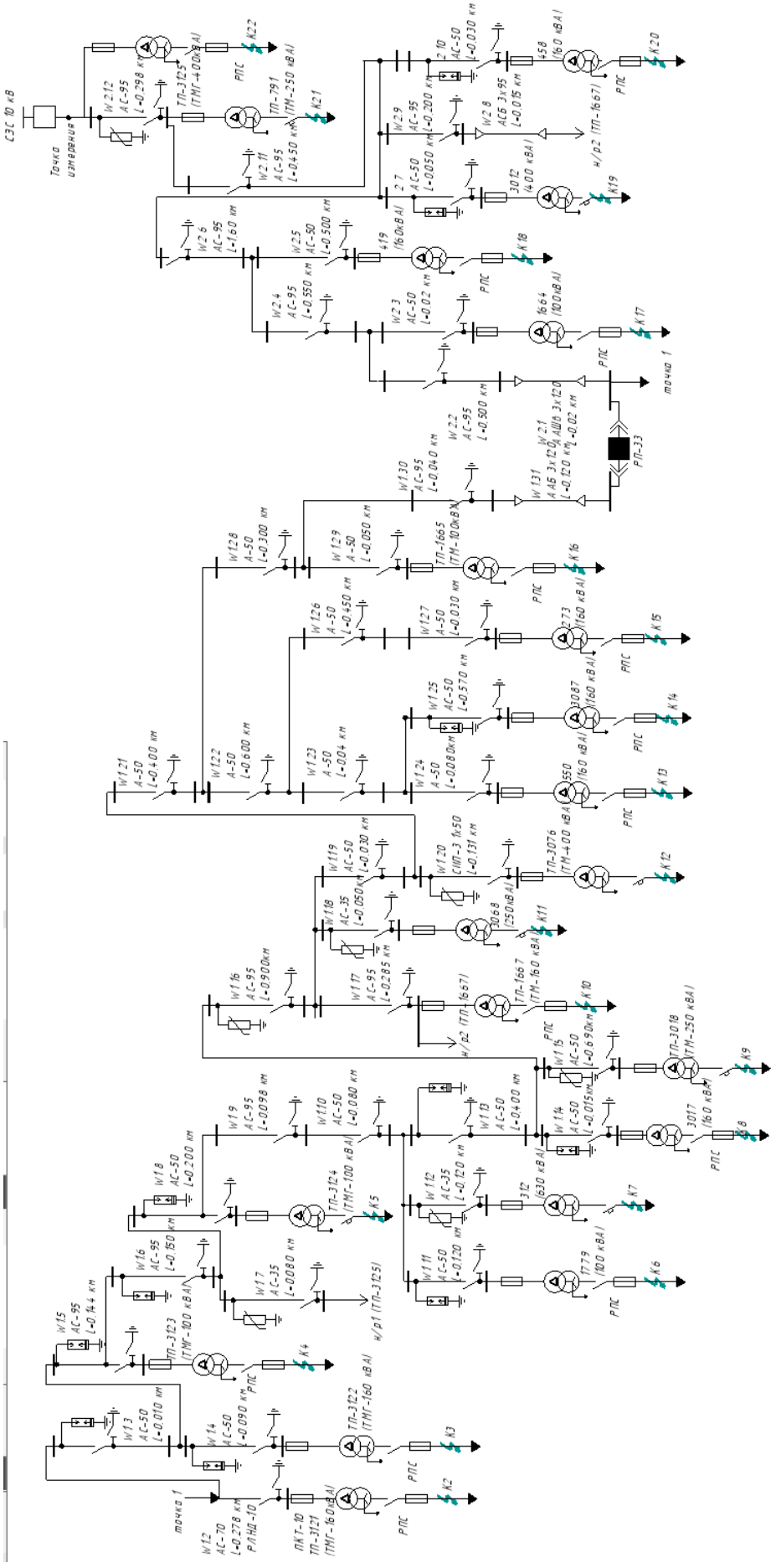

Рис. 4. Однолинейная схема ЭЭС с СЭС

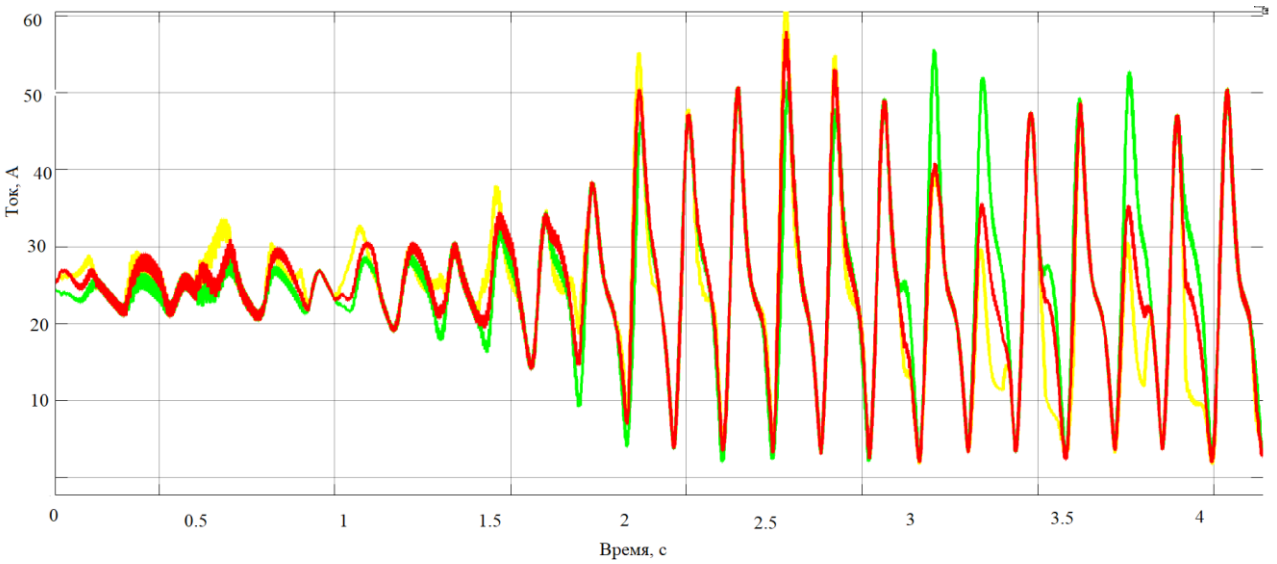

Рис. 5. Зависимости тока двухфазного короткого замыкания от времени с СЭС – 8 МВт

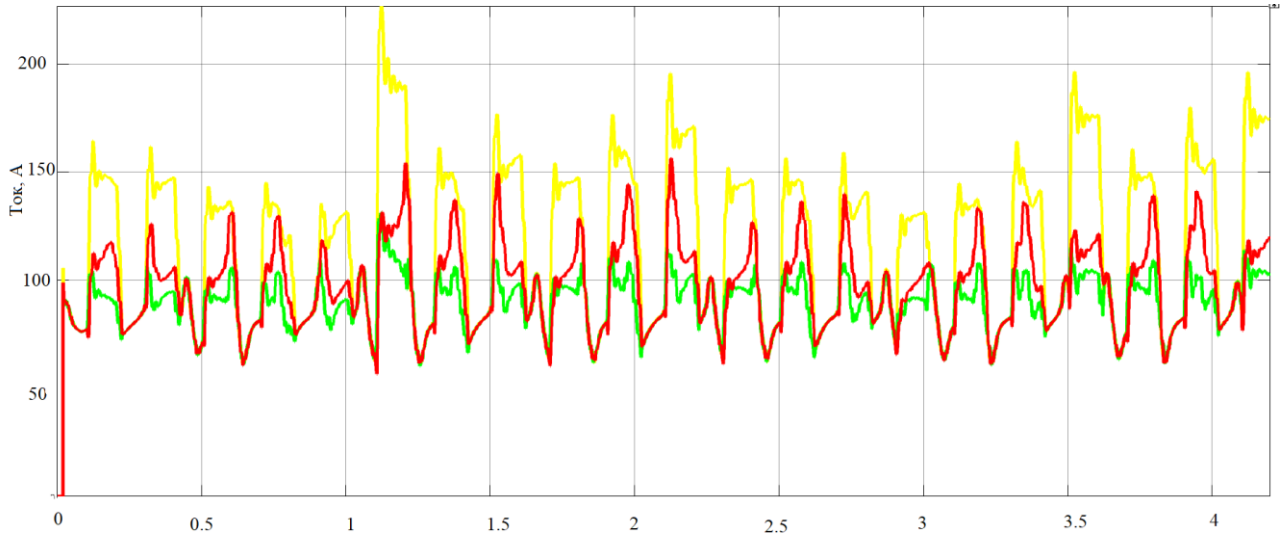

Рис. 6. Зависимости тока двухфазного короткого замыкания от времени в системе с комбинированным питанием

Выводы

В качестве защиты вводного выключателя используется максимальная токовая защита (МТЗ). Уставка МТЗ составляет 180 А, коэффициент чувствительности $k_ч$=1,5. В системе с комбинированным питанием коэффициент чувствительности равен $k_ч$=0,9, а при питании системы только от СЭС $k_ч$=0,54. Согласно ПУЭ, коэффициент чувствительности МТЗ в основной зоне должен быть не менее 1,5, следовательно, защита не удовлетворяет условиям чувствительности при наличии СЭС в ЭСС.

Таким образом, наличие возобновляемых источников энергии могут приводить к несрабатыванию РЗиА, следовательно, к выходу из строя и повреждению оборудования.

Библиографический список

1. Андреев М.В., Суворов А.А., Аскаров А.Б. Исследование влияния возобновляемых источников энергии на функционирование релейной защиты // Энергетика. 2019. Том 19, № 4. С. 34-40. EDN: WNVUNV. DOI: 10.14529/power190404
2. Telukunta V. Protection challenges under bulk penetration of renewable energy resources in power systems: A review // CSEE Journal of Power and Energy Systems. 2017. Т. 3, № 4. С. 365-379. DOI: 10.17775/CSEEJPES.2017.00030
3. Yazdanpanahi H., Li Y.W., Xu W. A new control strategy to mitigate the impact of inverter-based DGs on protection system //IEEE Transactions on Smart grid. 2012. Т. 3, № 3. С. 1427-1436. DOI: 10.1109/TSG.2012.2184309
4. Крынова Е.К., Валиуллин К.Р. Имитационная модель части электроэнергетической системы Оренбургского района в среде Simulink Matlab// Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Сб. мат.: Изд-во Оренбургский государственный университет, 2022. С. 1106-1112. EDN: ZZZYUV
5. Костюченко Л.П. Имитационное моделирование систем электроснабжения в программе MATLAB. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2012. 215 с.

References

1. Andreev, M. V., Suvorov, A. A., & Askarov, A. B. (2019). Research of energy sources of energy in the case of relay protection. *Energetika, 19(4)*, 34-40. https://doi.org/10.14529/power190404 [In Russian]
2. Telukunta, V. (2017). Protection challenges under bulk penetration of renewable energy resources in power systems: A review. *CSEE Journal of Power and Energy Systems, 3(4)*, 365-379. http://dx.doi.org/10.17775/CSEEJPES.2017.00030.
3. Yazdanpanahi, H., Li, Y. W., & Xu, W. (2012) A new control strategy to mitigate the impact of inverter-based DGs on protection system // *IEEE Transactions on Smart grid, 3(3)*, 1427-1436. http://dx.doi.org/10.1109/TSG.2012.2184309.
4. Krynova, E. K., & Valiullin, K. R. (2022). Imitatsionnaya model' chasti elektroenergeticheskoy sistemy Orenburgskogo rayona v srede Simulink Matlab [Simulation model of parts of the electric power system of the Orenburg region in the Simulink Matlab environment]. *In Proc. of the University complex as a regional center of education, science and culture* (pp. 1106-1112). Orenburg State University. [In Russian]
5. Kostyuchenko, L.P. (2012). Imitatsionnoye modelirovaniye sistem elektrosnabzheniya v programme MATLAB [Simulation modeling of power supply systems in the MATLAB program]. Krasnoyarsk State Agrarian University. [In Russian]

Сведения об авторах

Крынова Екатерина, студент ФГБОУ ВО «ОГУ», г. Оренбург.

Валиуллин Камиль Рафкатович, канд. техн.наук, доцент кафедры электро- и теплоэнергетики ФГБОУ ВО «ОГУ», г. Оренбург.

SPIN-код: 5609-2844

Authors about

Ekaterina Krynova, student of FGBOU VO "OGU",

Kamil R. Valiullin, candidate of technical sciences, associate professor of the department of electrical and thermal power engineering of FGBOU VO "OGU".