

Разработка логической части интеллектуальной многопараметрической релейной защиты

ЛОСКУТОВ А.А., ПЕЛЕВИН П.С., МИТРОВИЧ М.

Рассматриваются вопросы повышения чувствительности и надежности многопараметрической релейной защиты за счет совместного использования более чем одного информационного признака (модуль тока, модуль и фаза напряжения, активная и реактивная мощность). При этом определяются параметры срабатывания отдельных одномерных измерительных органов на основе накопления статистических данных при имитационном моделировании в программном комплексе Matlab/Simulink. Предложен метод объединения сигналов одномерных измерительных органов для повышения чувствительности защиты. Дана оценка надежности организации логического органа многопараметрической релейной защиты с использованием теории марковских процессов, принципов «2 из 3-х» и «1 из 2-х».

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрическая сеть, надёжность, чувствительность, многопараметрическая релейная защита, параметры срабатывания, статистика, измерительные органы

Внедрение современного электротехнического оборудования, развитие возобновляемых источников энергии и интеграция активных элементов регулирования параметров электрической сети влияют на усложнение ее конфигурации и эксплуатационных режимов, что приводит к повышению требований к чувствительности и надежности устройств релейной защиты (РЗ) [1]. В настоящее время наблюдается массовый переход устройств РЗ на микропроцессорную элементную базу, что позволяет радикально менять методы и подходы организации логической части РЗ, улучшая показатели технического совершенства.

До сих пор логика работы современных РЗ осталась не измененной, практически соответствующей традиционным электромеханическим устройствам РЗ. Это ведет к недоиспользованию потенциала и вычислительной способности цифровых устройств РЗ.

В отличие от электромеханической РЗ в микропроцессорной РЗ помимо аппаратной части существует программная часть, которая реализовывает логику работы устройства защиты. Аппаратная и программная части современного устройства РЗ имеют разные процессы отказов и восстановления, что отражается на адекватности оценки общей эксплуатационной надежности. Существует достаточно много методов, оценивающих аппаратную надежность устройств [2, 3], однако на сегодняшний день нет устойчивых методик расчета надежности, оценивающих работу логической части устройства РЗ.

За рубежом современным трендом являются подходы для организации логической части «специальных схем защиты» (Special Protection Schemes (SPS)) [4,19] и «резервируемых защит» (Protection Redundancy) [5], которые используют избыточность для обеспечения высоких показателей технического совершенства устройств РЗ.

Общепризнанным методом увеличения чувствительности РЗ и распознаваемости аварийных режимов является расширение числа наблюдаемых параметров и связано с построением многопараметрических РЗ [6–9, 13, 18]. Однако организация процедуры принятия решений РЗ при большом числе наблюдаемых параметров представляет определенную сложность и не имеет однозначных методов реализации.

Наиболее близкими подходами к практической реализации процедур принятия решений многопараметрических РЗ являются информационный подход [6–9] и статистические методы распознавания режимов [10–14]. Недостатками указанных подходов является усложненный принцип построения многопараметрических РЗ через многомерные пространства измерительных органов. При увеличении мерности более двух наблюдаемых параметров происходит резкое и неоправданное увеличение вычислительных затрат на реализацию таких защит, их существенное удорожание, снижение надежности и возможное ограничение практического использования.

В статье рассматривается построение многопараметрических релейных защит с объединением отдельных измерительных органов (ИО) через логи-

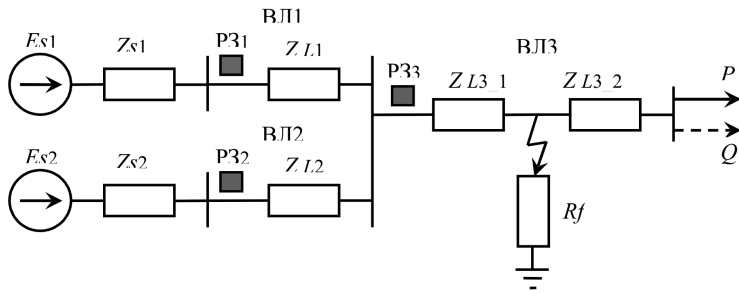


Рис. 1. Схема замещения наблюдаемого участка электрической сети 220 кВ

ческую часть РЗ для повышения чувствительности и обеспечения максимально возможной надежности устройств РЗ. Это подразумевает разработку специальных алгоритмов, отличных от интуитивно использованных в настоящее время, обеспечивающих обработку информации в более полной мере.

Для реализации поставленной цели необходимо знать вероятностные характеристики каждого ИО, влияющие на систему случайных возмущений (сигналов). Организация логической части основана на схеме голосования, в том числе принципах «1 из 2-х» и «2 из 3-х», а расчет надежности предложенной структуры выполнен с использованием теории марковских процессов.

Для обучения РЗ и получения статистики по допустимым и аварийным режимам, проведено имитационное моделирование сети 220 кВ со смежными воздушными линиями (рис. 1). Моделирование сети реализовано в программном продукте Matlab/Simulink [15].

Накопление статистики по режимам проведено на месте наблюдаемой РЗ₁, где рассматривалось 10000 итераций однофазных КЗ вдоль воздушной линии (ВЛ3). Одним из факторов, влияющих на снижение вероятности распознавания аварийных режимов и чувствительности РЗ, является переходное сопротивление в месте повреждения R_f . В связи с этим моделирование коротких замыканий (КЗ) проведено при его наличии. Таким образом, в установившемся пространстве РЗ существует область пересечения допустимых и аварийных режимов, что приводит к нераспознаваемости и усложнению принятия правильного решения об отключении.

На рис. 2 приведен пример реализации ИО, основанного на результатах измерений модулей тока и напряжения. Представление полученной статистики по режимам возможно в виде графиков плотности условной вероятности, где горизонтальная ось – это измеряемый ток в допустимых и аварийных режимах в месте наблюдаемой РЗ₁ (рис. 3). Для упрощения расчёта в примере проведена аппроксимация вероятности нормальным распределением, а для принятия решений использован критерий Байеса [14, 16].

Для определения параметров срабатывания предлагается решение двухгипотезной задачи. Принято, что задача распознавания имеет только два возможных решения и подразумевает проверку гипотез H_0 и H_1 : H_0 – на выходе решающего устройства (ИО) формируется измеряемый сигнал нормального режима (ноль); H_1 – на выходе ИО формируется измеряемый сигнал аварийного режима (единица) [11].

Для повышения чувствительности РЗ использован многомерный подход, где для примера рассматривалось пять отдельных одномерных ИО: по модулю тока I_m ; по модулю напряжения U_m ; по фазе напряжения φ ; по активной мощности P ; по реактивной мощности Q . Для каждого ИО исполь-

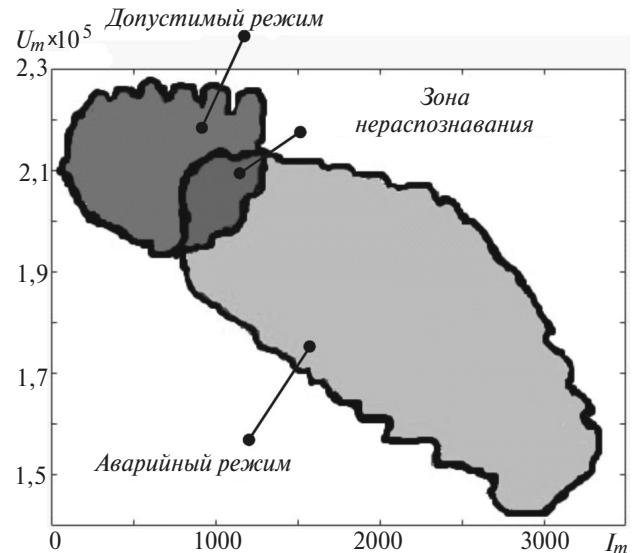


Рис. 2. Области допустимых и аварийных режимов модуля тока и напряжения для моделированной сети

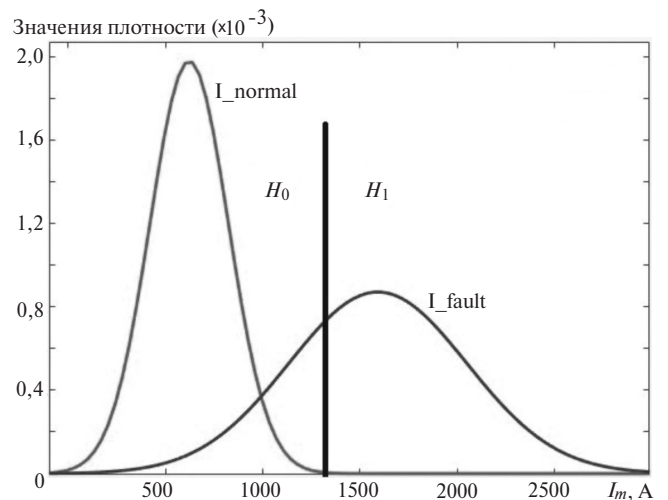


Рис. 3. График условной плотности вероятности нормального распределения допустимых и аварийных режимов модуля тока

зован критерий Байеса для расчета уставок и формирования двухгипотезной задачи.

Суммарный сигнал, получаемый от всех ИО и поступающий на вход логической части защиты, представляет собой фиксированную выборку элементарных дискретных бинарных сигналов (0 или 1), наблюдаемую в один и тот же момент времени: вектор A ($A = A_{1i}, A_{2i}, \dots, A_{pi}$, где $i=1, \dots, n$, n – число наблюдаемых режимов (итераций), p – число ИО). Для разработки правила принятия решения логической частью РЗ необходимо обрабатывать поступающие логические сигналы в соответствии с результатами предварительного имитационного моделирования [11, 16].

Формирование алгоритма распознавания РЗ повышенной чувствительности возможно при объединении логической операцией «ИЛИ» дискретных сигналов – элементов вектора A . Суть объединения таким способом подразумевает срабатывание защиты в случае распознавания хотя бы одним ИО. Моделирование показало, что при использовании пяти ИО вероятность распознавания аварийных режимов увеличивается на 67,5% по отношению к ИО с самой низкой вероятностью срабатывания. Это также влияет на общее повышение чувствительности РЗ.

Для оценки чувствительности использована объектная характеристика – зависимость величины переходного сопротивления от удаленности повреждения на линии, при котором РЗ обеспечивает распознавание КЗ (рис. 4) [17]. На основе объектной характеристики можно установить, при каких переходных сопротивлениях и удаленности от подстанции существует нераспознавание КЗ отдельными ИО и защитой в целом.

Для схемы (рис. 1) имитационные эксперименты проводились в начале линии ВЛЗ (0 км), в сере-

дине (50 км) и в конце (100 км). На рис. 4 видно, что многопараметрическая РЗ обеспечивает увеличение чувствительности по сравнению с самым чувствительным ИО, т.е. она распознает аварийные режимы при заданном переходном сопротивлении.

Предлагаемый метод организации логической части многопараметрической РЗ. Предложенный ранее подход, повышающий чувствительность РЗ, ориентирован на функционирование РЗ в условиях абсолютной надежности отдельных ИО. На практике возможны отказы, а также потеря части информационных данных, приводящие к несрабатыванию РЗ в аварийном режиме или излишнему срабатыванию в нормальных режимах.

Для организации логической части (ЛЧ) РЗ предлагается использование схем голосования с объединением логических сигналов вектора A по принципу «2 из 3-х» [18, 19]. Для этого используются три идентичных блока «ИЛИ», обеспечивающих избыточность обработки информации. Неустойчивая работа одного из ИО (логических элементов) не влияет на функционирование РЗ, что обеспечивает увеличение необходимой надежности. Данное обстоятельство особо имеет значение при аппаратной реализации устройства РЗА на программируемых логических матрицах (ПЛМ). В этом случае логический блок «ИЛИ» представляет собой законченный программный блок, который подвержен отказу. Структурная схема организации ЛЧ предлагаемого алгоритма, изображена на рис. 5.

Для оценки надежности предложенной структуры использована марковская модель переходов из одного состояния к другому. Нужно подчеркнуть, что оценка надежности выполнена косвенно вследствие того, что источником интенсивности отказов и восстановления являются данные из литературы по оценке надежности специальных схем защит [19].

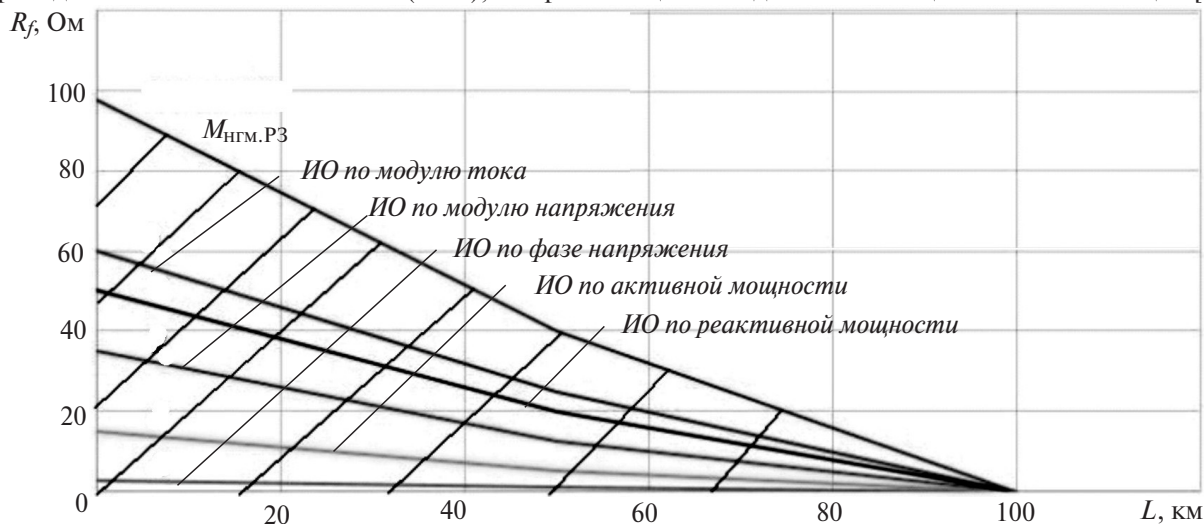


Рис. 4. Объектная характеристика распознавания многопараметрической РЗ

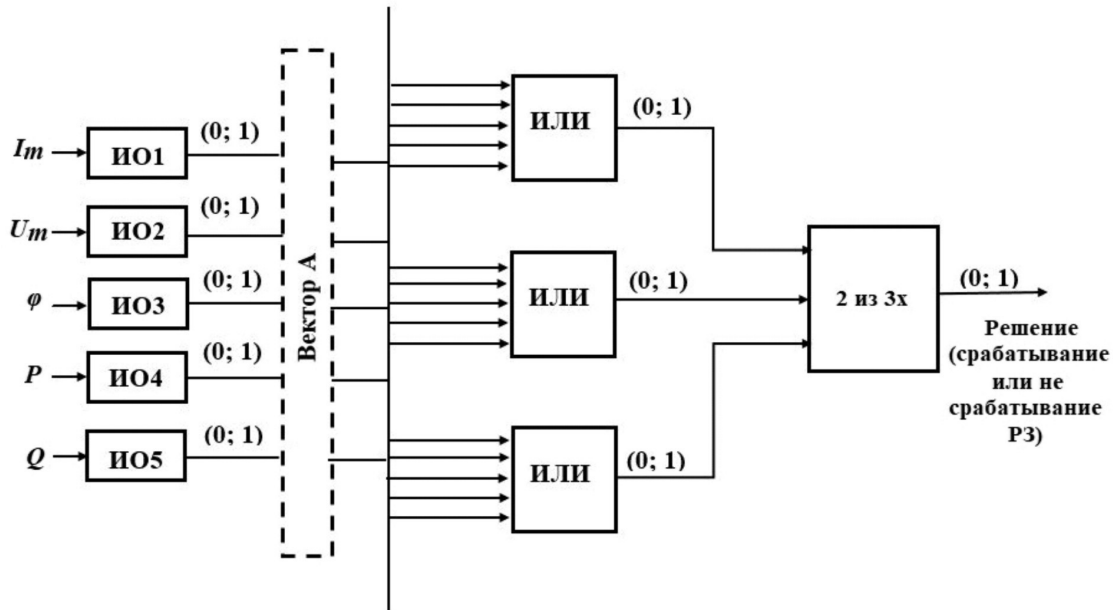


Рис. 5. Структурная схема организации ЛЧ при объединении совокупности сигналов отдельных ИО принципом «2 из 3-х»

Далее приведены значения интенсивности:

λ_{oo} – отказов для обнаружения отказа логического элемента; $\lambda_{он}$ – отказов для необнаружения отказа логического элемента; $\mu_{во}$ – восстановления при обнаружении отказа логического элемента в год; $\mu_{вн}$ – восстановления при необнаружении отказа логического элемента в год:

Параметр	Значение
λ_{oo}	0,018 (один раз в 25 лет)
$\lambda_{он}$	0,026 (один раз в 35 лет)
$\mu_{во}$	1095 (8 часов в год)
$\mu_{вн}$	4 (тест 6 месяцев)

Марковская модель состояний предложенной схемы организации логической части отображена на рис. 6. Для такой модели идентифицируется пять состояний: 1 – все три логических элемента

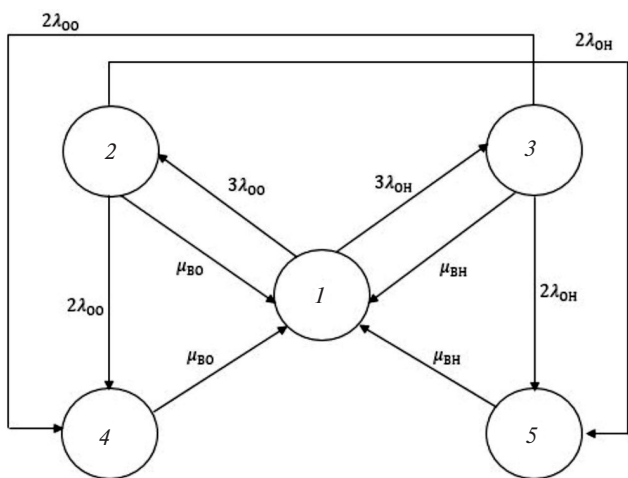


Рис. 6. Марковская модель состояния предложенной схемы организации ЛЧ

работают безотказно; 2 – один из логических элементов отказал и отказ обнаружен; 3 – один из логических элементов отказал и отказ не обнаружен; 4 – два из логических элементов отказали и отказ обнаружен; 5 – два из логических элементов отказали и отказ не обнаружен.

Для марковской модели определение вероятностей $P_i(t)$ ($i=1,2,\dots,n$) выполняется решением системы дифференциальных уравнений Колмогорова–Чемпена. Вследствие того, что в теории случайных процессов доказано, что однородные марковские процессы без поглощающих состояний (состояний из которых нет выхода) имеют стационарный режим, который наступит при достаточно большом времени ($t \rightarrow \infty$), то в результате получаем систему алгебраических уравнений для определения показателей надежности [20, 21]. Таким образом, формируется следующая система уравнений:

$$\begin{aligned}
 &-(3\lambda_{oo} + 3\lambda_{он})P_1 + \mu_{во}P_2 + \mu_{вн}P_3 + \\
 &+ \mu_{во}P_4 + \mu_{вн}P_5 = 0; \\
 &-(2\lambda_{oo} + 2\lambda_{он} + \mu_{во})P_2 + 3\lambda_{oo}P_1 = 0; \\
 &-(2\lambda_{oo} + 2\lambda_{он} + \mu_{вн})P_3 + 3\lambda_{он}P_1 = 0; \\
 &-\mu_{во}P_4 + 2\lambda_{oo}P_2 + 2\lambda_{oo}P_3 = 0; \\
 &-\mu_{вн}P_5 + 2\lambda_{он}P_2 + 2\lambda_{он}P_3 = 0; \\
 &P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1.
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Чтобы полученная система не была вырожденной, добавляется условие нормирования $\sum_{i=1}^n P_i$.

Далее после суммирования первого и последнего уравнений получаем систему:

$$\begin{aligned}
 &(1 - (3\lambda_{\text{оо}} + 3\lambda_{\text{он}}))P_1 + (1 + \mu_{\text{во}})P_2 + (1 + \mu_{\text{вн}})P_3 + \\
 &+ (1 + \mu_{\text{во}})P_4 + (1 + \mu_{\text{вн}})P_5 = 1; \\
 &-(2\lambda_{\text{оо}} + 2\lambda_{\text{он}} + \mu_{\text{во}})P_2 + 3\lambda_{\text{оо}}P_1 = 0; \\
 &-(2\lambda_{\text{оо}} + 2\lambda_{\text{он}} + \mu_{\text{вн}})P_3 + 3\lambda_{\text{он}}P_1 = 0; \\
 &-\mu_{\text{во}}P_4 + 2\lambda_{\text{оо}}P_2 + 2\lambda_{\text{оо}}P_3 = 0; \\
 &-\mu_{\text{вн}}P_5 + 2\lambda_{\text{он}}P_2 + 2\lambda_{\text{он}}P_3 = 0.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

С учетом подстановки численных значений вероятности каждого состояния можно рассчитать вероятности:

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ P_5 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0,868 & 1096 & 5 & 1096 & 5 \\ 0,054 & -1095,088 & 0 & 0 & 0 \\ 0,078 & 0 & -4,06 & 0 & 0 \\ 0 & 0,036 & 0,02 & -1095 & 0 \\ 0 & 0,052 & 0,04 & 0 & -4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \\
 &= \begin{bmatrix} 0,981 \\ 4,8374 \cdot 10^{-5} \\ 0,0187 \\ 6,1696 \cdot 10^{-6} \\ 2,4396 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Расчеты показывают, что при использовании принципа «2 из 3-х» получается достаточно высокая надежность и защита будет работать в 98,1% случаях безотказно.

Для дополнительного увеличения надежности, не влияющей на достигнутую максимальную чувст-

вительность и не нарушающей суть объединения информации совокупности ИО, использован принцип «1 из 2-х» [5, 18]. Такой подход подразумевает избыточность системы логических элементов, объединенных принципом «2 из 3-х» и дополненный логикой «1 из 2-х» (рис. 7).

Для оценки такой системы использована модель отказов невосстанавливаемых систем, параллельного соединения элементов. Предположим, что обе системы обладают одинаковыми характеристиками и что их вероятность безотказной работы $p(t)$ равна вероятности полученной расчетом марковской модели – $p_1(t) = p_2(t) = 98,1\% = 0,981$ отн.ед. Согласно этому вероятность отказов равна $q(t) = 1 - p(t)$, где $q_1(t) = q_2(t) = 1 - 0,981 = 0,019$ отн.ед. При параллельном соединении элементов вероятность отказов системы

$$q(t) = \prod_{i=1}^n q_i(t).
 \tag{4}$$

Из выражения (4) получаем, что вероятность отказов системы логической части, основанной на принципе «1 из 2-х» равна $q(t) = 0,000361$. Согласно этому вероятность безотказной работы равна $p(t) = 1 - q(t) = 1 - 0,000361 = 0,999639$. Организация логического органа, дополненного принципом «1 из 2-х», приводит к вероятности правильной работы до 99,96%. Таким образом, обеспечено дополнительное увеличение надежности, не нарушая достигнутого уровня чувствительности и распознаваемости аварийных режимов.

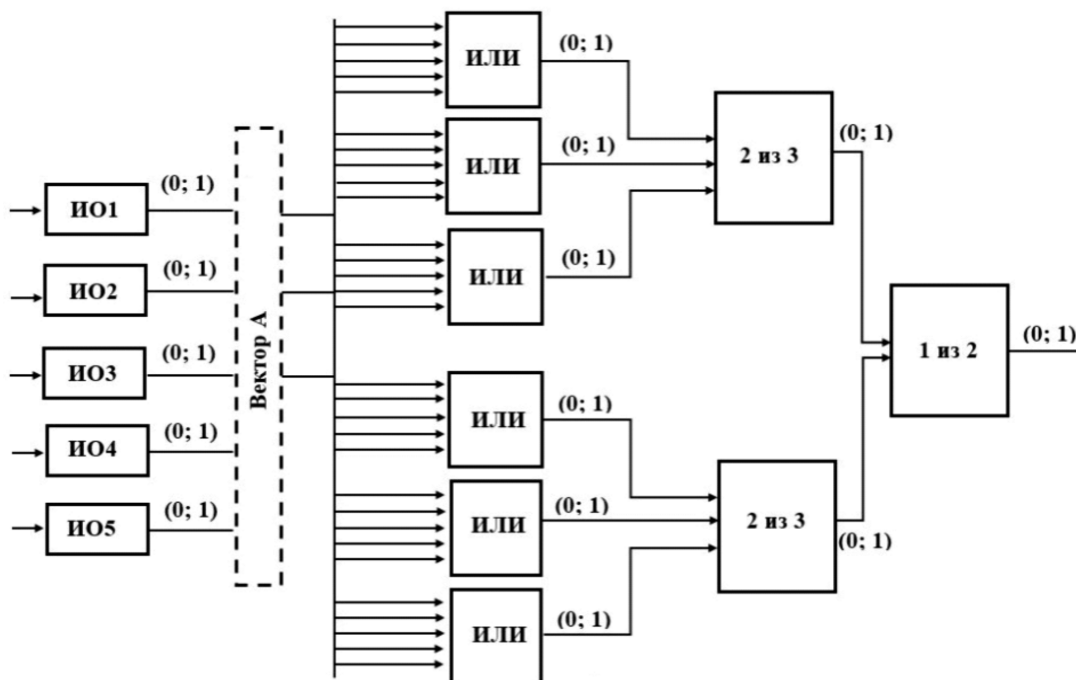


Рис. 7. Структурная схема организации ЛЧ принципом «1 из 2-х»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лоскутов А.Б. Проблемы перехода электроэнергетики на цифровые технологии. — Интеллектуальная электротехника, 2018, № 1, с. 9–27.
2. СТО 34.01-4.1-008-2018. Микропроцессорные устройства релейной защиты и автоматики. Методические указания по расчету надежности. Стандарт организации. ПАО «Россети», 2018, 41 с.
3. Шалин А.И. Надежность и диагностика релейной защиты энергосистем. Новосибирск: НГТУ, 2002, 384 с.
4. Ahmed Sh.K., Karthikeyan S.P., Sahoo S.K. Special Protection Schemes: A Survey and Vision for the future. — Applied Mechanics and Materials 839, 2016, pp. 49–53.
5. IEEE PSRC 2008 WG I-19 Redundancy Considerations for Protective Relaying Systems.
6. Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Зиновьев Д.В., Кержаев Д.В., Романов Ю.В. Многомерная релейная защита. Ч.1. Теоретические предпосылки. — Электричество, 2009, № 10, с. 17–25.
7. Лямец Ю.Я., Нудельман Г.С., Подшивалина И.С., Романов Ю.В. Эффекты многомерности в релейной защите. — Электричество, 2011, № 9, с. 48–54.
8. Иванов С.В., Лямец Ю.Я. Метод информационного анализа. Ч.2. Распознавание замыканий в заданной зоне двухцепной электропередачи. — Изв. РАН. Энергетика, 2016, № 1, с. 47–57.
9. Нагай И.В., Нагай В.И. Построение многопараметрических резервных защит электрических распределительных сетей 6–10 кВ. — Энергетик, 2013, № 2, с. 18–21.
10. Шарьгин М.В., Куликов А.Л. Защита и автоматика систем электроснабжения с активными промышленными потребителями. Нижний Новгород, НИУ РАНХиГС, 2017, с. 40–68.
11. Шарьгин М.В., Куликов А.Л. Объединение сигналов совокупности отдельных пусковых органов релейной защиты. — Электрические станции, 2018, № 9, с. 42–48.
12. Шарьгин М.В., Куликов А.Л. Применение статистических критериев распознавания режима релейной защиты сетей электроснабжения. — Электротехника. 2019, № 2, с. 58–64.
13. Sharygin M.V., Kulikov A.L. Statistical methods of mode recognition in relay protection and automation of power supply networks. — Power Technology and Engineering, 2018.
14. Куликов А.Л., Шарьгин М.В. Определение уставок релейной защиты и автоматики, основанное на статистическом

байесовском методе проверки гипотез. — Электричество, 2017, № 7, с. 20–29.

15. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019619654. Программа формирования статистических данных по нормальным и аварийным режимам работы в электрической сети для измерительных органов многопараметрической релейной защиты/ А.Л.Куликов., А.А. Лоскутов, М. Митрович, опубл. 22.07. 2019.

16. Kulikov A.L., Loskutov A.A., Mitrovic M. Method of automated synthesis of the logic part of relay protection device which increases its sensitivity. (ISEPC-2019), St. Petersburg, Russia, 23–24 May 2019.

17. Лямец Ю.Я., Антонов В.И., Нудельман Г.С. Метод объектных характеристик для анализа и синтеза дистанционной защиты. — Изв. вуз. Электромеханика, 1999, № 1, с. 95.

18. Kulikov A.L., Loskutov A.A., Mitrovic M. Improvement of the technical excellence of multiparameter relay protection by combining the signals of the measuring fault detectors using artificial intelligence methods. (SES-2019), Kazan', Russia 18–20 September 2019.

19. McCalley J., Oluwaseyi O., Krishnan V., Dai R., Singh C., Jiang K. System Protection Schemes: Limitations, Risks, and Management. — PSERC, 2010, Publication 10–19.

20. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем. Москва, 2013, с. 126–136.

21. Папков Б.В. Надежность электроснабжения: комплекс учебно-методических материалов. Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2007, 210 с.

[29.01.2020]

А в т о р ы: Лоскутов Антон Алексеевич — кандидат техн. наук, доцент кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» Нижегородского государственного технического университета им Р.Е. Алексеева — НГТУ, диссертацию защитил в 2015 г.

Пелевин Павел Сергеевич — аспирант кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» НГТУ.

Митрович Миле — студент Сколковского института науки и технологий.

Development of the Logic Part for Intelligent Multiparametric Relay Protection

LOSKUTOV Anton A. (Nizhny Novgorod State Technical University named P.Ye. Alekseyev (NSTU), Russia) — Associate Professor of Electrical Power, Electricity and Power Electronics Dept., Cand. Sci. (Eng.)

PELEVIN Pavel S. (NSTU, Nizhny Novgorod, Russia) — Graduate Student of Electrical Power, Electricity and Power Electronics Dept.

MITROVIC Mile (Skolkovo Institute of Sciences and Technology, Russia) — Student

The article addresses matters concerned with improving the sensitivity and reliability of multiparametric relay protection through combined use of more than one information parameter (current modulus, voltage modulus and phase, active and reactive power). The parameters at which individual measurement units produce a triggering output are determined based on accumulation of statistical data in the course of simulation carried out using the Matlab/Simulink software package. A method of combining the signals produced by one-dimensional measurement units for improving the protection sensitivity is proposed. The

reliability of the multiparametric relay protection logic unit configuration is evaluated using the theory of Markov processes and the «2 out of 3» and «1 out of 2» voting principles.

Key words: electric network, reliability, sensitivity, multiparametric relay protection, triggering parameters, statistics, measurement units

REFERENCES

1. **Loskutov A.B.** *Intellectual'naya elektrotehnika – in Russ. (Intellectual Electrical Engineering)*, 2018, No. 1, pp. 9–27.
2. **STO 34.01-4.1-008-2018.** *Mikroprotessornyye ustroystva releynoy zashchity i avtomatiki. Metodicheskiye ukazaniya po raschetu nadezhnosti. Standart organizatsii. PAO «Rosseti» (STO 34.01-4.1-008-2018.* Microprocessor devices for relay protection and automation. Guidelines for the calculation of reliability. Organization Standard. PJSC Rosseti), 2018, 41 p.
3. **Shalin A.I.** *Nadezhnost' i diagnostika releynoy zashchity energosistem (Reliability and diagnostics of relay protection of power systems).* Novosibirsk, NGTU, 2002, 384 p.
4. **Ahmed Sh.K., Karthikeyan S.P., Sahoo S.K.** Special Protection Schemes: A Survey and Vision for the future. – *Applied Mechanics and Materials* 839, 2016, pp. 49–53.
5. **IEEE PSRC 2008 WG I-19** Redundancy Considerations for Protective Relaying Systems.
6. **Lyamets Yu.Ya., Nudel'man G.S., Zinov'yev D.V., Kerzhayev D.V., Romanov Yu.V.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2009, № 10, pp. 17–25.
7. **Lyamets Yu.Ya., Nudel'man G.S., Podshivalina I.S., Romanov Yu.V.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2011, No. 9, pp. 48–54.
8. **Ivanov S.V., Lyamets Yu.Ya.** *Izv. RAN. Energetika – in Russ. (News of Russian Academy of Sciences. Power Engineering)*, 2016, No. 1, pp. 47–57.
9. **Sharygin M.V., Kulikov A.L.** *Zashchita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya s aktivnymi promyshlennymi potrebitelyami (Protection and automation of power supply systems with active industrial consumers).* Nizhniy Novgorod, NIU RANKhiGS, 2017, pp. 40–68.
10. **Sharygin M.V., Kulikov A.L.** *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 2019, 2, pp. 58–64.
11. **Sharygin M.V., Kulikov A.L.** *Elektricheskiye stantsii – in Russ. (Power Plants)*, 2018, No. 9, pp. 42–48.
12. **Sharygin M.V., Kulikov A.L.** *Elektrotehnika – in Russ. (Electrical Engineering)*, 2019, No. 2, pp. 58–64.
13. **Sharygin M.V., Kulikov A.L.** Statistical methods of mode recognition in relay protection and automation of power supply networks. – *Power Technology and Engineering*, 2018.
14. **Kulikov A.L., Sharygin M.V.** *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2017, No. 7, pp. 20–29.
15. **Svidetel'stvo o gos. registratsii programmy dlya EVM № 2019619654.** *Programma formirovaniya statisticheskikh dannykh po normal'nym i avariynym rezhimam raboty v elektricheskoy seti dlya izmeritel'nykh organov mnogoparametricheskoy releynoy zashchity/ A.L.Kulikov, A.A. Loskutov, M. Mitrovich, opubl. 22.07 (Certificate of state. registration of a computer program No. 2019619654. The program for generating statistical data on normal and emergency modes of operation in the electric network for measuring organs of multi-parameter relay protection / A.L.Kulikov, A.A. Loskutov, M. Mitrovich, opubl. 22.07), 2019.*
16. **Kulikov A.L., Loskutov A.A., Mitrovic M.** Method of automated synthesis of the logic part of relay protection device which increases its sensitivity. (ISEPC-2019), St. Petersburg, Russia, 23–24 May 2019.
17. **Viktorova V.S., Stepanyants A.S.** *Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem (Viktorova V.S., Stepanyants A.S. Models and methods for calculating the reliability of technical systems).* Moscow, 2013, pp. 126–136.
18. **Kulikov A.L., Loskutov A.A., Mitrovic M.** Improvement of the technical excellence of multiparameter relay protection by combining the signals of the measuring fault detectors using artificial intelligence methods (SES-2019), Kazan', Russia 18–20 September 2019.
19. **McCalley J., Oluwaseyi O., Krishnan V., Dai R., Singh C., Jiang K.** System Protection Schemes: Limitations, Risks, and Management. – PSERC, 2010, Publication 10–19.
20. **Viktorova V.S., Stepanyants A.S.** *Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem (Models and methods for calculating the reliability of technical systems).* Moscow, 2013, pp. 126–136.
21. **Papkov B.V.** *Nadezhnost' elektrosnabzheniya: kompleks uchebno-metodicheskikh materialov (Reliability of power supply: a set of teaching materials).* N. Novgorod, Nizhegorod. gos. tekhn. un-t, 2007, 210 p.

[29.01.2020]