



ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, СИСТЕМЫ,
МАТЕРИАЛЫ И ПРИБОРЫ

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES, SYSTEMS,
MATERIALS, AND INSTRUMENTS

Статья поступила в редакцию 05.01.24. Ред. Рег. № 305-001-24

The article has entered in publishing office 05.01.24. Ed. Reg. No. 305-001-24

УДК 621.311.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕСТОВЫХ ПРОВЕРОК ДЛЯ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА

Осинцев А. А.,* Фролова Е. И.

*Кафедра электрических станций, Новосибирский государственный технический университет,
пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, 630073, РФ
Тел./Факс: +7 (383) 346-13-73
e-mail: osincev@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.245-251

Заключение совета рецензентов: 14.01.24

Заключение совета экспертов: 26.01.24

Принято к публикации: 29.01.24

Одним из наиболее сложных и ответственных видов автоматике в электрических сетях с синхронной генерацией, к которым относятся и генерирующие установки на водородном топливе, является автоматика ликвидации асинхронного режима. Моделирование входных сигналов, соответствующих точным настройкам данной автоматике для проверки правильности её функционирования, является непростой задачей. Это связано с тем, что необходимо моделировать точные параметры траектории измеряемого вектора сопротивления в асинхронном режиме, описываемой окружности (радиус, координаты центра в комплексной плоскости сопротивлений, направление вращения, скорость и т. д.), в то время, как доступные инструменты, встроенные в испытательные устройства, часто не поддерживают такие параметры напрямую. Для решения этой проблемы авторы представляют подход к моделированию мгновенных значений токов в линии и фазных напряжений во время асинхронного режима. Все предложенные решения позволяют сократить время ввода в эксплуатацию автоматике ликвидации асинхронного режима и, тем самым, повысить качество и скорость испытаний.

Ключевые слова: автоматика ликвидации асинхронного режима, синхронные качания, асинхронный ход, годограф вектора сопротивления, моделирование, релейная защита, математическая модель.

Осинцев А. А., Фролова Е. И. Моделирование тестовых проверок для автоматике ликвидации асинхронного режима // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE), 01 (418) 2024, с. 245-251

Osintsev A. A., Frolova E. I. Modeling test checks for automatic elimination of asynchronous mode // Alternative Energy and Ecology (ISJAEE), 01(418) 2024, pp. 245-251



MODELING TEST CHECKS FOR AUTOMATIC ELIMINATION OF ASYNCHRONOUS MODE

*Osintsev A. A., * Frolova E. I.*

*Department of Electric Power Plants, Novosibirsk State Technical University, K. Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, tel./Fax: +7 (383) 346-13-73
e-mail: osincev@corp.nstu.ru

doi: 10.15518/isjaee.2024.01.245-251

Referred: 14.01.24

Received in revised form: 26.01.24

Accepted: 29.01.24

One of the most complex and responsible kinds of protection in networks with rotating generation, which includes hydrogen fuel generation, is protection against loss-of-synchronism. And it is a challenging task to simulate input signals corresponding to the exact settings of the out-of-step protection to make sure it operates correctly. This is because one has to simulate exact parameters of impedance locus (its radius, coordinates of the center in the impedance plane, spin direction, speed, etc.) while available tools embedded in testing devices often don't support such parameters directly. To deal with the problem, the authors present the approach to simulate instantaneous values of line currents and phase-to-ground voltages during the out-of-step operation. All the proposed solutions proved to reduce the time required for commissioning of out-of-step protection and thereby increase tests quality and speed.

Keywords: out-of-step protection, power swings, out-of-step, impedance locus, numerical simulation, relay protection, mathematical model.



Осинцев
Анатолий
Анатольевич

Osintsev
Anatoliy
Anatol'evich

Сведения об авторе: кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрических станций Факультета энергетики, Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия.

Образование: магистр по специальности «Электроэнергетика и электротехника», Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия, 2010.

Область научных интересов: Исследование влияния переходных процессов в группах трансформаторов тока на функционирование быстродействующих защит, исследование сложных переходных режимов на функционирование устройств автоматической ликвидации асинхронного режима, а также разработка устройств послеаварийного восстановления нормального режима.

Публикации: 58.

Индекс Хирша: 2.

Elibrary Author ID: 787278

Scopus Author ID: 57204924457

Wos Author ID: I-5459-2016

ORCID: 0000-0001-8373-3493

Author information: PhD in Engineering Science, associate professor of the Department of Power Station, Faculty of Power Engineering, NSTU, Novosibirsk, Russia.

Education: Master of «Electric engineering and electrical technology», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, 2010.

Research area: Study of the influence of transient processes in groups of current transformers on the functioning of high-speed protections, study of complex transient modes on the functioning of automatic devices for eliminating asynchronous mode, as well as the development of devices for post-emergency restoration of normal mode.

Publications: 58.

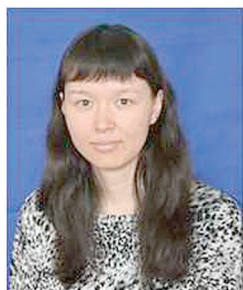
H-index: 2.

Elibrary Author ID: 787278

Scopus Author ID: 57204924457

Wos Author ID: ORCID: I-5459-2016

ORCID: 0000-0001-8373-3493



Фролова
Екатерина Игоревна

Frolova
Ekaterina Igorevna

Сведения об авторе: кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций Факультета энергетики, Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия.

Образование: Инженер по специальности «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск, Россия, 2008.

Область научных интересов:

Исследование влияния переходных процессов в группах трансформаторов тока на функционирование быстродействующих защит, исследование сложных переходных режимов на функционирование устройств автоматики ликвидации асинхронного режима.

Публикации: 20.

Индекс Хирша: 1.

Elibrary Author ID: 787709

Scopus Author ID: 57190444763

Author information: PhD in Engineering Science, associate professor of the Department of Power Station, Faculty of Power Engineering, NSTU, Novosibirsk, Russia.

Education: Engineer specializing in «Relay protection and automation of electrical power systems», Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, 2008.

Research area: Study of the influence of transient processes in groups of current transformers on the functioning of high-speed protections, study of complex transient modes on the functioning of automatic devices for eliminating asynchronous mode.

Publications: 20.

H-index: 1.

Elibrary Author ID: 787709

Scopus Author ID: 57190444763



Таблица сокращений:

АЛАР	Автоматика ликвидации асинхронного режима
EMTP	Программный продукт для моделирования и анализа электрических энергосистем
ATP	Программа моделирования для электроэнергетики
ЭДС	Электродвижущая сила
\underline{E}_1	Вектор ЭДС энергосистемы 1
\underline{E}_2	Вектор ЭДС энергосистемы 2
\underline{Z}_1	Векторное сопротивление энергосистемы 1
\underline{Z}_2	Векторное сопротивление энергосистемы 2

P	Место установки защиты
\underline{I}_r	Вектор тока, протекающего через защищаемую линию
КПА-М	Комплекс противоаварийной автоматики многофункциональный
РЕТОМ-51	Многофункциональный программно-аппаратный комплекс для проверки устройств релейной защиты и автоматики
COMTRADE	Common Transient Data Exchange, общепринятый формат записи осциллограмм переходных процессов (аварий) в энергосистемах

Введение

Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР) предназначена для предотвращения развития аварийной ситуации, вызванной несинхронным вращением двух и более частей электроэнергетической системы друг относительно друга. Технически АЛАР может быть организована по разным принципам действия: с использованием реле тока, дистанционных реле или углового принципа [1]. Использование цифровой техники при реализации АЛАР позволило

более точно идентифицировать режимы работы энергосистемы, но при этом привело к существенному усложнению алгоритмов функционирования [2-10]. Поэтому комплексный ввод АЛАР в эксплуатацию, включающий проверку правильности её настроек и конфигурации, зачастую становится очень сложной, трудоемкой задачей, как отмечают многие специалисты [11-14].

1. Постановка задачи

В статье [15] представлены различные способы тестирования АЛАР основанные на дистанционном принципе, где указано, что наиболее точный способ тестирования АЛАР – это моделирование различных неисправностей и нештатных состояний с использованием специализированных программных симуляторов режимов работы энергосистемы (ЕМТР, АТР). Однако такие симуляторы довольно дороги и для их использования потребуется специальная подготовка. Кроме того, упомянутые программные системы содержат множество функций, и не все из них действительно необходимы для проведения теста АЛАР.

Другой возможный способ проверки конфигурации АЛАР – воспроизведение записей аварийных процессов с цифровых регистраторов аварийных

событий. Эти записи обеспечивают наиболее реалистичное тестирование конкретных событий, для которых они были записаны, но, с одной стороны, количество таких записей ограничено, а с другой – для проверки иных устройств АЛАР с иными настройками и для проверки других условий качания мощности таких записей обычно недостаточно.

Таким образом, актуальной является задача получения простых в использовании и понятных средств тестирования АЛАР в условиях потери синхронизма, особенностью которых был бы понятный графический интерфейс. Создание таких инструментов позволило бы не только снизить трудозатраты, но и повысить качество пуско-наладочных работ [16-20].

2. Материалы и методы

В российской энергосистеме широкое распространение получили устройства АЛАР, основанные на дистанционном принципе [21], при этом АЛАР, реагирующие на колебания тока, также можно встретить в эксплуатации. Для моделирования процессов [22-31], протекающих в этих устройствах, использовалась модель двухмашинной системы (рис. 1). На рисунке 1 приняты следующие обозначения: E_1, E_2 – векторы ЭДС двух энергосистем; Z_1, Z_2 – векторные сопротивления энергосистем 1 и 2 соответственно; точка «Р» указывает место установки защиты; I_r – вектор тока, протекающего через защищаемую линию. На основе данной модели выполнены поставленные далее задачи по проверке АЛАР.

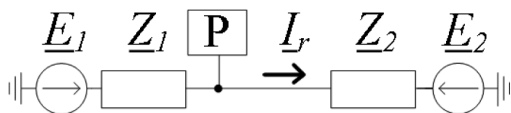


Рис. 1. Модель двухмашинной системы
Fig. 1. Model of a two-machine system

При проверке функционирования АЛАР токовым принципе необходимо установить:

- 1) надежное несрабатывание автоматики при токе, равном 90 % уставки или ниже ее;
- 2) надежное срабатывание автоматики при действующем значении тока, равном 110 % уставки и выше.

При проверке функционирования АЛАР на дистанционном принципе необходимо установить:

- 1) надежное несрабатывание автоматики при расположении электрического центра качаний вне защищаемого участка сети (траектория измеряемого вектора сопротивления описывает форму окружности и располагается вне характеристики срабатывания);
- 2) надежное срабатывание автоматики при расположении электрического центра качаний на защищаемом участке сети (траектория измеряемого вектора сопротивления описывает форму окружности и пересекает характеристику срабатывания);
- 3) надежное несрабатывание автоматики при синхронных качаниях (траектория измеряемого вектора сопротивления описывает форму разомкнутого кольца и пересекает характеристику срабатывания, но не пересекает линию, характеризующую смену знака мощности).

3. Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования токовых и дистанционных АЛАР проводились на многофункциональном устройстве противоаварийной автоматики (серия КПА-М) производства АО «Институт автоматизации энергетических систем» с помощью

программно-аппаратного испытательного комплекса РЕТОМ-51. Анализ данных, записанных прибором, подтверждает корректность предложенных алгоритмов проверки.

Заключение

Разработанные алгоритмы позволяют качественно моделировать асинхронный режим и синхронные

качания с произвольно заданными параметрами и, тем самым образуют полноценную основу для про-

верки уставок АЛАР как на токовом, так и на дистанционном принципе. Единственным требованием для тестовой установки является поддержка воспроизведения записей COMTRADE, что делает представленный подход универсальным.

Предложенные алгоритмы активно используются при наладке устройств АЛАР на базе терминалов КПА-М (производство АО «Институт автоматизации энергетических систем», г. Новосибирск, Россия). Это существенно сокращает время проведения пуско-наладочных работ, а также повышает его качество, по-

скольку ранее проверка настроек проводилась стандартными средствами программного обеспечения РЕТОМ-51 со значительными затруднениями подбора параметров аварийного режима.

Благодарности

Авторы выражают особую благодарность Илье Игоревичу Литвинову за ценные советы при планировании исследования и рекомендации по подготовке статьи.

Список литературы

[1]. Гоник Я. Е., Иглицкий Е. С. Автоматика ликвидации асинхронного режима. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 112 с.

[2]. Наровлянский В. Г.: Применение устройства АЛАР-М для выявления и ликвидации асинхронного режима электроэнергетической системы: статья в науч. журн. «Энергетик» / Наровлянский В. Г., Ваганов А.Б. – Москва: Изд-во «Энергопрогресс», 2011. – 17-20 с.

[3]. Акционерное общество «Институт автоматизации энергетических систем» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://iaes.ru>. Ссылка активна на 27 января 2023.

[4]. Сборник технических описаний. Комплекс устройств противоаварийной автоматики [Электронный ресурс] – ООО «Релематика», 2015. – 23 с. – Режим доступа: https://storage.energybase.ru/source/112/NzJaiiWqUK_PCvy98EJDPsldFTprnVs3.pdf. Ссылка активна на 27 января 2023.

[5]. Малый А. П. Реализация автоматики ликвидации асинхронного режима в шкафах серии ШЭ2607 / Малый А. П., Шурупов А. А., Иванов С. А., Павлов Ю. Н., Кошельков И. А. // Релейная защита и автоматизация, 2010. – С. 39-53.

[6]. User manual of Multifunction Generator, Motor and Transformer Protection Relay SIPROTEC4-7UM62, Siemens AG: Germany, 2001.

[7]. Современные методы и средства предотвращения асинхронного режима электроэнергетической системы / В. Г. Наровлянский – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 360 с.

[8]. Цифровое устройство автоматики ликвидации асинхронных режимов [Электронный ресурс] – НТЦ «ЕЭС». Режим доступа: <https://ntcees.ru/departments/products/alar3.php>. Ссылка активна на 27 января 2023.

[9]. Руководство по эксплуатации ТИЯК.648229.001.РЭ: Цифровая автоматика ликвидации асинхронных режимов АЛАР-Ц. Модификации АЛАР-Ц-02, АЛАР-Ц-03, АЛАР-Ц-04. – СПб.: НИИПТ, 2008 г.

[10]. Типовая инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики подстанций [Электронный ресурс]. Доступно по: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.004-2008.pdf>. Ссылка активна на: 27 января 2023.

[11]. Megger, J.; Gersusa, J. M. Setting and testing of power swing blocking and out of step relays considering transient stability conditions. In Proceedings of the IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection, Glasgow, UK, 17-20 March 2008 [CrossRef].

[12]. Jacome, Y; Henville, C. F. Setting out-of-step blocking or tripping using dynamic simulations. In Proceedings of the Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, USA, 18-20 October 2011.

[13]. Ambekar, V. A.; Dambhare, S. S. Comparative evaluation of out of step detection schemes for distance relays. In Proceedings of the IEEE Fifth Power India Conference, Murthal, India, 19-22 December 2012 [CrossRef].

[14]. Cole, S.; Promel, F.; Josz, P.; Merckx, C.; Karoui, K.; Rese, L. Automatic tuning of out-of-step relays. In Proceedings of the IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Leuven, Belgium, 04-08 April 2016 [CrossRef].

[15]. Verzosa, Q. Realistic testing of power swing blocking and out-of-step tripping functions. In Proceedings of the 66th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 08-11 April 2013 [CrossRef].

[16]. Patki, S.; Kamin, D.; Suyash, K. Numerical relay testing and validation in relay life cycle. In Proceedings of the CIGRE Paris Session, Paris, France, December 2018.

[17]. Apostolov, A.; Vandiver, B. Testing of multifunctional distance protection relays. In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, USA, 24-28 June 2007 [CrossRef].

[18]. Vandiver, B. Why testing digital relays are becoming so difficult! Part 1. In Proceedings of the 67th



Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 31 March-3 April 2014 [CrossRef].

[19]. Vandiver, B.; Apostolov, A. Injected waveforms and their effect on protection element response. In Proceedings of the 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 3-6 April 2017 [CrossRef].

[20]. Смирнов Ю. Л. Требования к процессу тестирования РЗА для снижения человеческого фактора / Смирнов Ю. Л. // Релейщик. – 2021. – № 1 (39). – С. 28-32.

[21]. Волохов, Н. А. Исследование влияния на работу устройств АЛАР возмущений, возникающих после начала асинхронного режима / Н. А. Волохов // Электроэнергетика глазами молодежи-2019: материалы юбилейной X Международной научно-технической конференции, Иркутск, 16-20 сентября 2019 года. Том 1. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2019. – С. 243-246.

[22]. Способ получения годографа асинхронного режима с заданными характеристиками для проверки работы дистанционного органа / В. Е. Глазырин, И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова // Электрические станции. – 2018. – № 6. – С. 36-41.

[23]. Litvinov, I. I.; Marchenko, A. A.; Gracheva, E. I. On Methods of Checking Digital Out-Of-Step Protection Devices. E3S Web of Conferences 2020, 220, 01081 [CrossRef].

[24]. Литвинов И. И. Разработка методов и средств проверки дистанционной и токовой АЛАР / И. И. Литвинов, А. А. Марченко // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. - 2020. – № 6 (81). – С. 17-25.

[25]. Способ получения годографа синхронных качаний с заданными характеристиками на комплексной плоскости = Method for obtaining the impedance locus of stable swings with specified characteristics on

the complex plane / И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова, А. А. Марченко // Вестник Казанского государственного энергетического университета. - 2020. – Т. 12, № 1 (45). – С. 93-100.

[26]. Glazyrin, V. E.; Litvinov, I. I.; Osintsev, A. A.; Frolova, E. I. Automation of distance relay testing, In Proceedings of the 20 International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, Altai Republic, Erlagol, Russia, 29 June – 3 July 2019 [CrossRef].

[27]. Проверка дистанционного органа устройств РЗ и ПА в асинхронном режиме стандартными средствами испытательного комплекса «РЕТОМ» / А. А. Осинцев, В. Е. Глазырин, И. И. Литвинов, Е. И. Фролова // Электрические станции. – 2017. – № 10. – С. 32-37.

[28]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №201961125006, 21.02.2019: «Получение годографа с заданными параметрами на комплексной плоскости» // И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова, Ф. В. Поддубняк.

[29]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019612683, 26.02.2019: «Получение кругового годографа вектора сопротивления при неизменном действующем значении тока» // И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова.

[30]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2019612684, 26.02.2019: «Получение кругового годографа вектора сопротивления при неизменном действующем значении напряжения» // И. И. Литвинов, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова.

[31]. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020618128, 26.02.2019: «Получение годографа синхронных качаний с заданными параметрами на комплексной плоскости» // И. И. Литвинов, А. А. Марченко, А. А. Осинцев, Е. И. Фролова.

References

[1]. Gonik Ya. E., Iglitsky E. S. Automatic elimination of asynchronous mode. – М.: Energoatomizdat, 1988. – 112 p.

[2]. Narovlyansky V. G.: Application of the ALARM device to identify and eliminate the asynchronous mode of the electric power system: article in scientific magazine “Energetik” / Narovlyansky V.G., Vaganov A.B. – Moscow: Publishing house “Energoprogress”, 2011. – 17-20 p.

[3]. Joint Stock Company «Institute of Automation of Energy Systems» [Electronic resource]. Access mode: <http://iaes.ru>. Link active on January 27, 2023.

[4]. Collection of technical descriptions. Complex of emergency automation devices [Electronic

resource] – Relematika LLC, 2015. – 23 p. – Access mode: https://storage.energybase.ru/source/112/NzJaiiWqUK_PCVy98EJDPsldFTprmVs3.pdf. Link active as of January 27, 2023.

[5]. Maly A. P. Implementation of automatic elimination of asynchronous mode in cabinets of the SHE2607 series / Maly A. P., Shurupov A. A., Ivanov S. A., Pavlov Yu. N., Kosheikov I. A. // Relay protection and automation, 2010. – P. 39-53.

[6]. User manual of Multifunction Generator, Motor and Transformer Protection Relay SIPROTEC4-7UM62, Siemens AG: Germany, 2001.

[7]. Modern methods and means of preventing asynchronous operation of the electric power system /

V. G. Narovlyansky - M.: Energoatomizdat, 2004. - 360 p.

[8]. Digital device for automatic elimination of asynchronous modes [Electronic resource] - STC «UES». Access mode: <https://ntcees.ru/departments/products/alar3.php>. Link active on January 27, 2023.

[9]. Operating manual TIYAK.648229.001.RE: Digital automation for eliminating asynchronous modes ALAR-Ts. Modifications ALAR-C-02, ALAR-C-03, ALAR-C-04.– St. Petersburg: NIPT, 2008.

[10]. Standard instructions for organizing and carrying out work in relay protection devices and electrical automation of substations [Electronic resource]. Available from: <https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/56947007-29.240.30.004-2008.pdf>. Link active on: January 27, 2023.

[11]. Megger, J.; Gersusa, J. M. Setting and testing of power swing blocking and out of step relays considering transient stability conditions. In Proceedings of the IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection, Glasgow, UK, 17-20 March 2008 [CrossRef].

[12]. James, Y; Henville, C. F. Setting out-of-step blocking or tripping using dynamic simulations. In Proceedings of the Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington, USA, 18-20 October 2011.

[13]. Ambekar, V. A.; Dambhare, S. S. Comparative evaluation of out of step detection schemes for distance relays. In Proceedings of the IEEE Fifth Power India Conference, Murthal, India, 19-22 December 2012 [CrossRef].

[14]. Cole, S.; Promel, F.; Josz, P.; Merckx, C.; Karoui, K.; Rese, L. Automatic tuning of out-of-step relays. In Proceedings of the IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), Leuven, Belgium, 04-08 April 2016 [CrossRef].

[15]. Verzosa, Q. Realistic testing of power swing blocking and out-of-step tripping functions. In Proceedings of the 66th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 08-11 April 2013 [CrossRef].

[16]. Patki, S.; Kamin, D.; Suyash, K. Numerical relay testing and validation in relay life cycle. In Proceedings of the CIGRE Paris Session, Paris, France, December 2018.

[17]. Apostolov, A.; Vandiver, B. Testing of multifunctional distance protection relays. In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, Tampa, FL, USA, 24-28 June 2007 [CrossRef].

[18]. Vandiver, B. Why testing digital relays are becoming so difficult! Part 1. In Proceedings of the 67th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 31 March-3 April 2014 [CrossRef].

[19]. Vandiver, B.; Apostolov, A. Injected waveforms and their effect on protection element response. In Proceedings of the 70th Annual Conference for Protective Relay Engineers, College Station, TX, USA, 3-6 April 2017 [CrossRef].

[20]. Smirnov Yu. L. Requirements for the testing process of relay protection and automation to reduce the

human factor / Smirnov Yu. L. // Relayman. – 2021. – No. 1 (39). – pp. 28-32.

[21]. Volokhov, N. A. Study of the influence on the operation of ALAR devices of disturbances that arise after the start of the asynchronous mode / N. A. Volokhov // Electric power industry through the eyes of youth-2019: materials of the anniversary X International Scientific and Technical Conference, Irkutsk, September 16-20 2019. Volume 1. – Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2019. – P. 243-246.

[22]. A method for obtaining an asynchronous mode hodograph with specified characteristics for checking the operation of a remote control / V. E. Glazyrin, I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova // Electric stations. – 2018. – No. 6. – P. 36-41.

[23]. Litvinov, I. I.; Marchenko, A. A.; Gracheva, E. I. On Methods of Checking Digital Out-Of-Step Protection Devices. E3S Web of Conferences 2020, 220, 01081 [CrossRef].

[24]. Litvinov I. I. Development of methods and means for checking remote and current ALAR / I. I. Litvinov, A. A. Marchenko // Bulletin of the North Caucasus Federal University. - 2020. – No. 6 (81). – pp. 17-25.

[25]. Method for obtaining the impedance locus of stable swings with specified characteristics on the complex plane / I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova, A. A. Marchenko // Bulletin of the Kazan State Energy University. - 2020. – T. 12, No. 1 (45). – P. 93-100.

[26]. Glazyrin, V. E.; Litvinov, I. I.; Osintsev, A.A.; Frolova, E. I. Automation of distance relay testing. In Proceedings of the 20 International conference of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices, Altai Republic, Erlagol, Russia, 29 June – 3 July 2019 [CrossRef].

[27]. Checking the remote control of RP and PA devices in asynchronous mode using standard means of the RETOM testing complex / A. A. Osintsev, V. E. Glazyrin, I. I. Litvinov, E. I. Frolova // Electric stations. – 2017. – No. 10. – pp. 32-37.

[28]. Certificate of state registration of a computer program No. 201961125006, 02/21/2019: “Obtaining a hodograph with given parameters on a complex plane” // I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova, F. V. Poddubnyak.

[29]. Certificate of state registration of a computer program No. 2019612683, 02.26.2019: “Obtaining a circular hodograph of the resistance vector with a constant effective current value” // I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova.

[30]. Certificate of state registration of a computer program No. 2019612684, 02.26.2019: “Obtaining a circular hodograph of the resistance vector with a constant effective voltage value” // I. I. Litvinov, A. A. Osintsev, E. I. Frolova.

[31]. Certificate of state registration of a computer program No. 2020618128, 02/26/2019: “Obtaining a hodograph of synchronous swings with given parameters on a complex plane” // I. I. Litvinov, A. A. Marchenko, A. A. Osintsev, E. I. Frolova.