

УДК 621.316.925:681.3

Сергей Владимирович Деркачев

Донецкий национальный технический университет, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электрических станций, Украина, Донецк, e-mail: sergey_derkachev@mail.ru

Способы построение измерительных и пусковых органов микропроцессорных устройств быстрого автоматического включения резерва

Авторское резюме

Состояние вопроса. Для повышения надежности электроснабжения промышленных предприятий при кратковременных нарушениях нормального режима электроснабжения в современных сетях широкое распространение получили микропроцессорные устройства быстрого автоматического включения резерва. Наличие двигательной нагрузки в таких сетях требует минимизации времени перерыва питания для обеспечения более благоприятных условий самозапуска электродвигателей. Однако существующие на сегодняшний день алгоритмы работы измерительных органов устройств быстрого автоматического включения резерва основаны на разложении измеряемого сигнала с помощью интеграла Фурье и требуют интервала наблюдения, равного периоду промышленной частоты. Известные органы направления мощности, используемые в микропроцессорных устройствах быстрого автоматического включения резерва, не обеспечивают надежной работы устройства при несимметричных и близких коротких замыканиях. В связи с этим необходимо повышение быстродействия работы алгоритмов измерительных органов микропроцессорных устройств быстрого автоматического включения резерва, а также повышение надежности работы пускового органа направления мощности при близких коротких замыканиях и глубоких посадках напряжения.

Материалы и методы. Для реализации поставленной цели используется метод компьютерного моделирования. Для проверки полученных теоретических результатов используется метод натурального эксперимента на лабораторном стенде.

Результаты. Усовершенствован алгоритм определения ортогональных составляющих измеряемых сигналов тока и напряжения путем интегрального усреднения мгновенных дискретных значений измеряемых сигналов и их производных на интервале наблюдения длительностью менее полупериода промышленной частоты. Усовершенствован алгоритм работы пускового органа направления мощности при глубоких посадках напряжения, вызванных близкими короткими замыканиями в сети как внешнего, так и внутреннего электроснабжения, путем использования в качестве опорного напряжения для определения направления мощности напряжения основного источника питания из добавленного органа памяти доаварийного цикла измерений.

Выводы. Полученные результаты показывают, что предложенный алгоритм работы измерительных органов позволяет получить значения фазы и амплитуды измеряемого сигнала за время, равное 0,005 с, а применение усовершенствованного пускового органа направления мощности позволяет повысить его надежность при глубоких посадках напряжения и несимметричных коротких замыканиях. Предложенные алгоритмы работы измерительных органов и пускового органа направления мощности могут быть использованы в устройствах быстрого автоматического включения резерва.

Ключевые слова: синхронный электродвигатель, асинхронный электродвигатель, микропроцессорное устройство, быстродействующее автоматическое включение резерва, пусковой орган направления мощности, глубокие посадки напряжения, несимметричное короткое замыкание

Sergey Vladimirovich Derkachev

Donetsk National Technical University, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Senior Lecturer of Electrical Station Department, Ukraine, Donetsk, e-mail: sergey_derkachev@mail.ru

Ways of constructing of measuring and starting elements of microprocessor devices of fast acting automatic transfer switch

Abstract

Background. Microprocessor devices of fast-acting automatic transfer switch (FATS) are widely spread in modern networks to increase the reliability of power supply of industrial plants in case of short-term violations of normal power supply mode. Presence of motor load in such networks requires minimizing the power interruption time to provide more favorable conditions for self-starting of electric motors. However, currently existing operation algorithms of measuring elements of FATS devices are based on the decomposition of the measured signal by using a Fourier integral, and require observation interval equals to the period of the industrial frequency. The known directional elements that are used in microprocessor-based FATS devices do not ensure reliable operation of the device with asymmetric and nearby fault. Therefore, the purpose of the work is to increase the speed of operation of the algorithms of the measuring elements of microprocessor devices of FATS, as well as to increase the reliability of the starting directional element in case of nearby fault and deep voltage drops.

Materials and methods. To achieve this goal the author uses the method of computer simulation. The method of a full-scale experiment on a laboratory bench to verify the obtained theoretical results is used.

Results. The author improves the algorithm to determine the orthogonal components of the measured current and voltage signals by integral averaging of instantaneous discrete values of the measured signals and their derivatives over the observation interval with a duration of less than a half-period of the industrial frequency. The algorithm of the operation of the starting directional element in case of deep voltage drops caused by nearby fault in both the external and internal power supply network has been improved by using the main power supply voltage from the added memory element of the pre-fault measurement cycle as a reference voltage to determine the power direction.

Conclusions. The obtained results show that the proposed algorithm for the operation of the measuring elements will make it possible to obtain the value of the phase and amplitude of the measured signal in a time equals to 0,005 s. and use of an improved starting directional element makes it possible to increase its reliability in case of deep voltage drops and asymmetric short circuits. The proposed algorithms of operation of the measuring elements and the starting directional element can be used in FATS devices.

Key words: synchronous electric motor, induction electric motor, microprocessor unit, fast-acting automatic transfer switch, starting directional element, deep voltage drops, asymmetric short circuit

DOI: 10.17588/2072-2672.2021.1.041-048

Введение. Микропроцессорные устройства быстродействующего автоматического включения резерва (БАВР) в современных электрических сетях нашли широкое применение, поскольку они способны обеспечить сохранение сложного непрерывного технологического процесса на промышленных предприятиях при кратковременных нарушениях нормального режима электроснабжения и успешный самозапуск двигательной нагрузки после восстановления питания. Наиболее важными характеристиками устройств БАВР являются их быстродействие и надежность работы в случае нарушения электроснабжения по причине коротких замыканий в питающей сети либо по любым другим причинам.

Одним из путей повышения быстродействия устройств БАВР является совершенствование алгоритмов обработки измеряемых сигналов тока и напряжений. Так, например, известные алгоритмы, основан-

ные на разложении входного сигнала в ряды Фурье [1, 2], требуют интервала наблюдения, равного периоду промышленной частоты, что не позволяет обеспечить высокого быстродействия обработки измеряемых сигналов. Алгоритмы работы измерительных органов, приведенные в [3], обладают более высоким быстродействием и выполняют определение амплитуды и фазы измеряемого сигнала на основе одной или двух выборок его мгновенных значений. Однако приведенные в [3] алгоритмы имеют низкую помехоустойчивость.

Существующие на сегодняшний день микропроцессорные устройства БАВР должны выявлять возникновение аварийного режима в сети внешнего электроснабжения основного источника, обусловленного короткими замыканиями, и выполнять переключение питания на резервный источник. Для реализации этого требования в устройствах БАВР [4–7] в качестве пусково-

го органа при возникновении коротких замыканий в сети внешнего электроснабжения используют орган направления мощности на вводе секции основного источника питания. Однако алгоритм работы органа направления мощности, приведенный в [4, 5], не обеспечивает надежной работы, так как при возникновении несимметричных коротких замыканий в сети внешнего электроснабжения направление мощности может не меняться. Также неправильная работа органа направления мощности может возникнуть при близких коротких замыканиях и глубоких посадках напряжения.

Алгоритм работы органа направления мощности, приведенный в [6–8], не обеспечивает надежной работы по причине использования для определения направления мощности на вводе секции основного источника питания в качестве опорного напряжения доли напряжения резервного источника питания, что при разности частот напряжений основного и резервного источников питания может привести к ложному срабатыванию устройства БАРВ.

Таким образом, актуальной задачей является повышение быстродействия работы алгоритмов измерительных органов микропроцессорных устройств БАРВ, а также повышение надежности работы пускового органа направления мощности при близких коротких замыканиях и глубоких посадках напряжения.

Методы исследования. В [3] отмечено, что методы определения амплитуды и фазы измеряемого сигнала на основе нескольких выборок его мгновенных значений и их производных обладают достаточно хорошим фильтрующим свойством, поскольку способствуют более быстрому затуханию апериодических составляющих в токе в переходных режимах и устраняют их влияние на искажение синусоиды. В связи с этим метод на основе нескольких выборок и их производных был принят за основу для дальнейшего совершенствования.

При таком подходе амплитуду измеряемого сигнала, его фазу и комплексное выражение можно определить по следующим формулам:

$$X_m = \sqrt{\left(\frac{x'(t)}{\omega}\right)^2 + x^2(t)}; \quad (1)$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\omega \cdot x(t)}{x'(t)}\right); \quad (2)$$

$$\underline{X}(t) = |X_m| e^{j(\omega t + \varphi)} = \frac{x'(t)}{\omega} + jx(t). \quad (3)$$

При численном определении производной измеряемого сигнала по его мгновенным значениям лучше всего использовать нечетное количество выборок, взятых с шагом дискретизации h , при этом наибольшей точностью будут обладать центральные производные. Формула для численного определения производной по пяти выборкам измеряемого сигнала имеет вид

$$x'(t) = \frac{1}{12h} (x(t_1) - 8 \cdot x(t_2) + 8 \cdot x(t_4) - x(t_5)). \quad (4)$$

В связи с тем, что определение центральной производной для момента времени t_3 выполняется по формуле (4), для этого же момента времени необходимо использовать усредненное значение измеряемого сигнала по тем же пяти выборкам, что позволит снизить влияние случайных помех.

Так как численное дифференцирование обладает меньшей точностью, чем интегрирование, то для повышения точности определения параметров измеряемого сигнала сначала целесообразно выполнить усреднение мгновенных значений для середины интервала наблюдения. Формула для определения усредненного значения измеряемого сигнала для середины интервала наблюдения по пяти выборкам имеет вид

$$x(t_3) = \frac{1}{A_n} (x(t_1) + x(t_2) + x(t_3) + x(t_4) + x(t_5)), \quad (5)$$

где A_n – коэффициент усреднения.

Поскольку функция синуса является нелинейной, а шаг дискретизации h остается неизменным, то коэффициент усреднения должен определяться как отношение суммы всех n выборок измеряемого сигнала к центральной выборке измеряемого сигнала. Формула для определения коэффициента усреднения имеет вид

$$A_n = \frac{\sum_{r=0}^{n-1} \sin(\omega(t_1 + hr) + \varphi)}{\sin\left(\omega\left(t_1 + h\frac{n-1}{2}\right) + \varphi\right)}. \quad (6)$$

Согласно (6), величина коэффициента усреднения зависит от трех параметров: частоты измеряемого сигнала ω , шага дискретизации h и количества выборок n измеряемого сигнала. Таким образом, величина коэффициента усреднения для пяти

выборки измеряемого сигнала частотой 314,159 радиан и с шагом дискретизации 0,001 с будет равна 4,521. Без выполнения уточненного усреднения величина коэффициента усреднения составила бы 5, что снизило бы точность вычислений амплитуды и фазы измеряемого сигнала.

Таким образом, усовершенствованный алгоритм определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала заключается в следующем. При заданной частоте дискретизации h измеряемого сигнала на первом этапе выполняется его усреднение по формуле (5), после чего выполняется численное определение его производной по формуле (4). На втором этапе по формулам (1)–(3) выполняется определение амплитуды, фазы и ортогональных составляющих измеряемого сигнала.

Приведенный алгоритм определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала в силу своего быстрого действия и помехоустойчивости может быть использован в микропроцессорных устройствах быстрого действия автоматического включения резерва при построении алгоритмов работы его пусковых органов. Так, например, используемый в устройствах БАР орган направления мощности математически описывается формулой

$$P = (u_x i_x + u_y i_y) \cos(\alpha) + (u_y i_x - u_x i_y) \sin(\alpha), \quad (7)$$

где i_x, i_y, u_x, u_y – ортогональные составляющие фазных токов и напряжений; α – угол максимальной чувствительности.

Как уже было отмечено, приведенные в [4–8] способы реализации органа направления мощности не обеспечивают надежной и селективной его работы при глубоких посадках напряжения и несимметричных коротких замыканиях в сети внешнего электроснабжения. Поэтому для повышения надежности работы пускового органа направления мощности нами предлагается при определении направления мощности прямой последовательности в качестве опорного напряжения для определения направления мощности использовать напряжение основного источника питания из органа памяти доаварийного цикла измерений. Такой подход позволит обеспечить надежную и правильную работу при возникновении как симметричных, так и несимметричных коротких замыканий в сети внешнего электроснабжения, а также при глубоких посадках напряжения, вызванных внешними короткими замыкания-

ми и короткими замыканиями на отходящих присоединениях.

При использовании приведенного алгоритма работы органа направления мощности и его реализации с помощью формулы (7) необходимо предварительное определение мгновенных значений ортогональных составляющих тока и напряжения прямой последовательности.

Определить ортогональные составляющие прямой последовательности тока (напряжения) с помощью ортогональных составляющих измеряемых фазных токов (напряжений), определяемых по формулам (4) и (5), можно по следующим формулам:

$$i_{pp-x} = \frac{1}{2} \left(\frac{i'_a(t)}{\omega} + \frac{i_b(t) - i_c(t)}{\sqrt{3}} \right); \quad (8)$$

$$i_{pp-y} = \frac{1}{2} \left(i_a(t) - \frac{i'_b(t) - i'_c(t)}{\sqrt{3} \cdot \omega} \right). \quad (9)$$

Величина угла максимальной чувствительности α , используемого в формуле (7), может быть принята равной $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$.

Исследования, проведенные в [9], показывают, что для систем электроснабжения с двигательной нагрузкой в виде синхронных и асинхронных двигателей наиболее оптимальной является величина угла максимальной чувствительности α , равная 60° , поскольку она обеспечивает наилучшее быстрое действие при выявлении аварийного режима, что позволяет сократить время переключения питания на резервный источник.

Результаты исследования. На рис. 1 показаны результаты работы усовершенствованного алгоритма определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала по пяти выборкам, содержащего высшие гармоники, с шагом дискретизации 0,001 с.

На рис. 2 показаны результаты работы алгоритма определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала по пяти выборкам при измерении тока фазы А асинхронного двигателя с шагом дискретизации 0,001 с.

Анализ полученных результатов (рис. 1, 2) показывает, что усовершенствованный алгоритм определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала обладает достаточно высокой помехоустойчивостью и высоким быстрым действием, поскольку позволяет определить ортогональные составляющие измеряемого сигнала за

время менее полупериода промышленной частоты, что делает его предпочтительным для использования в микропроцессорных устройствах быстродействующего автоматического включения резерва.

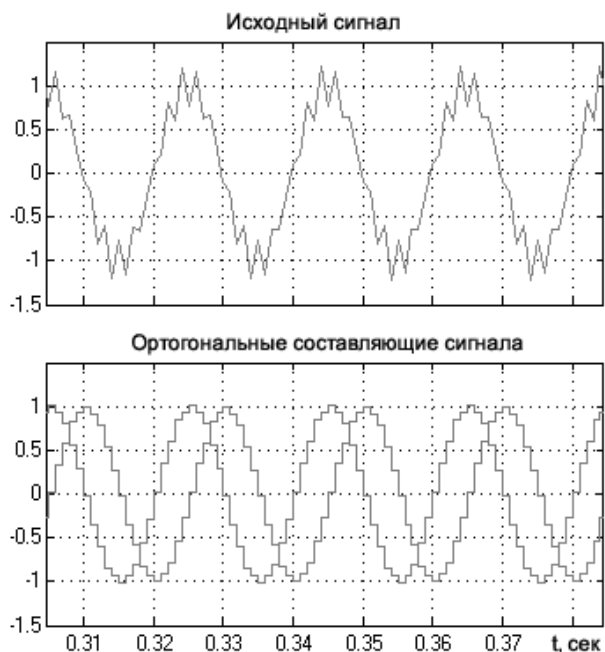


Рис. 1. Результаты компьютерного моделирования работы алгоритма определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала

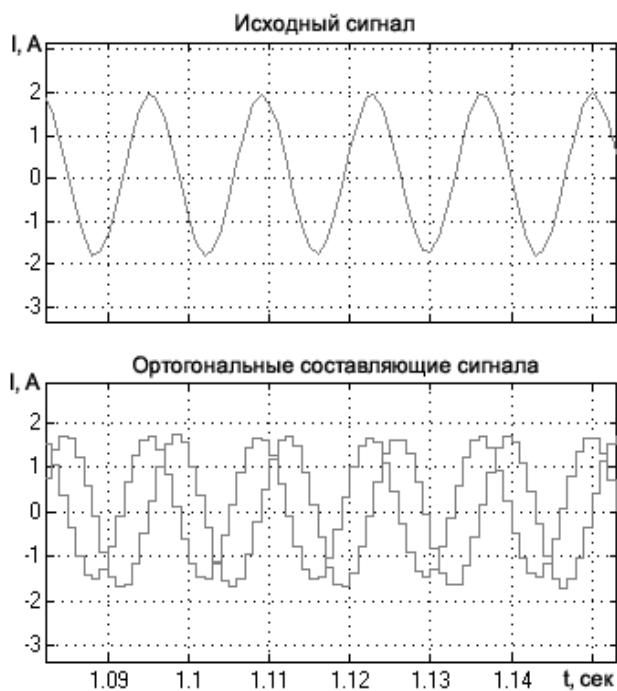


Рис. 2. Результаты работы алгоритма определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала тока фазы А асинхронного двигателя

С помощью математической модели участка сети с двигательной нагрузкой (рис. 3), описанной в [10], было выполнено моделирование работы усовершенствованного органа направления мощности в различных режимах.

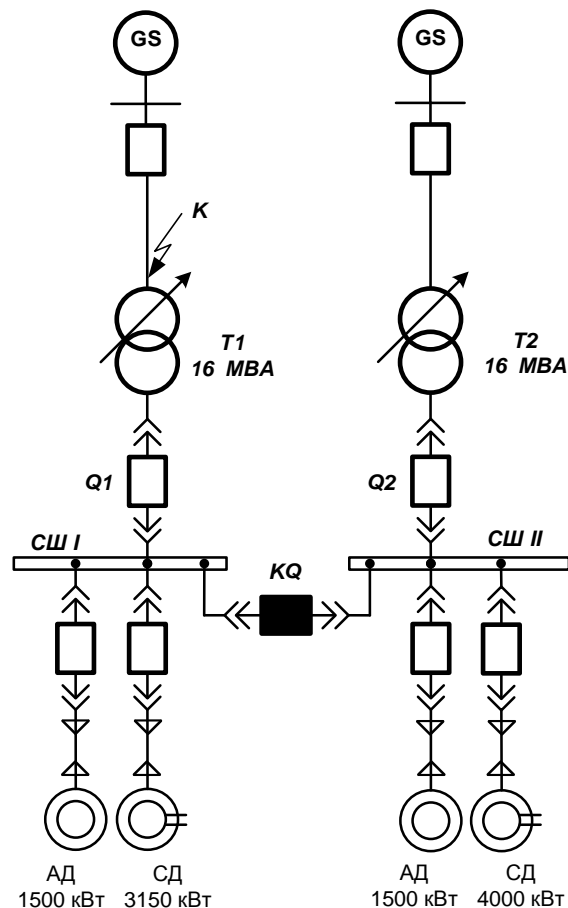


Рис. 3. Участок сети с двигательной нагрузкой

На рис. 4 приведены результаты моделирования работы усовершенствованного органа направления мощности при возникновении трехфазного короткого замыкания в сети внешнего электроснабжения.

Анализ полученных результатов (рис. 4) показывает, что в момент времени 8 с возникло трехфазное короткое замыкание в сети внешнего электроснабжения и произошло изменение направления активной мощности на вводе секции. Орган направления мощности выявил появления аварийного режима в течение 0,001 с, после чего была подана команда на отключение выключателя основного источника питания, что позволило обеспечить максимальное быстродействие усовершенствованного органа направления мощности.

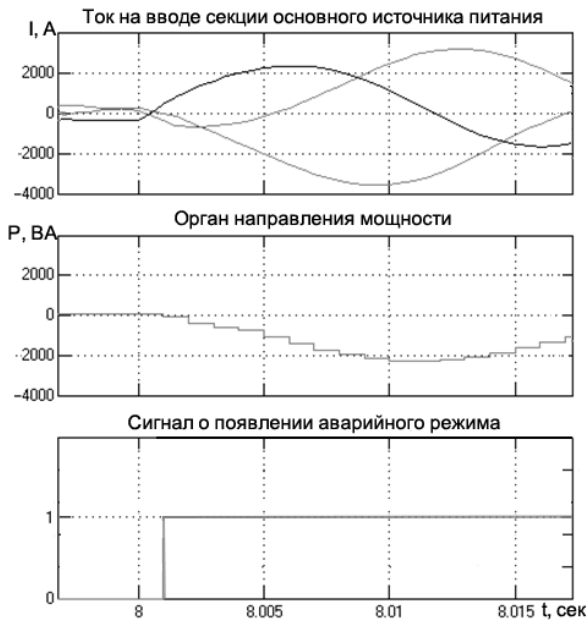


Рис. 4. Результаты компьютерного моделирования работы усовершенствованного органа направления мощности при возникновении внешнего трехфазного короткого замыкания

На рис. 5 показаны результаты компьютерного моделирования режима короткого замыкания на секции, от которой получают питание синхронные и асинхронные электродвигатели.

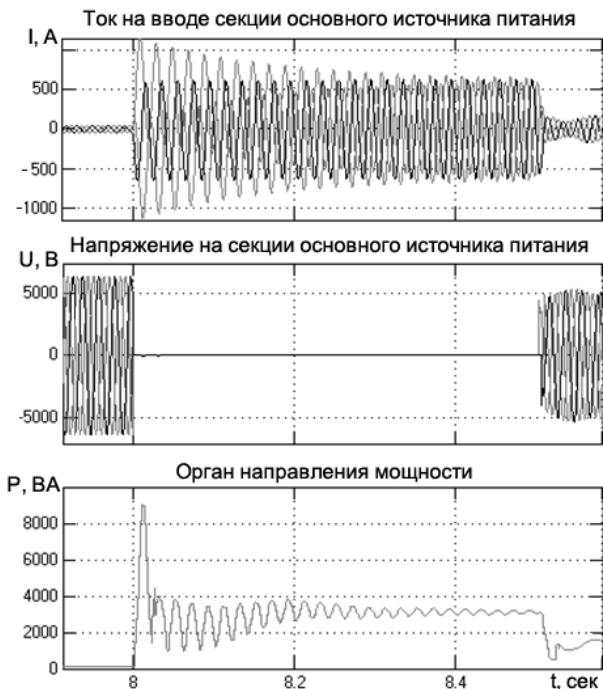


Рис. 5. Результаты компьютерного моделирования работы усовершенствованного органа направления мощности при возникновении короткого замыкания на секции с двигательной нагрузкой

При возникновении короткого замыкания на секции с двигательной нагрузкой в момент времени 8 с усовершенствованный орган направления мощности, несмотря на глубокую посадку напряжения (практически до нуля), согласно полученным результатам (рис. 5), выполняет правильное определение направления активной мощности на вводе секции, тем самым обеспечивая повышение надежности и селективности работы органа направления мощности в устройствах БАРВ.

На рис. 6 приведены результаты испытаний усовершенствованного алгоритма определения направления мощности на лабораторном стенде, который представляет собой двухтрансформаторную подстанцию с двигательной нагрузкой в виде асинхронных двигателей напряжением 0,4 кВ.

Время реакции усовершенствованного органа направления мощности на появление трехфазного короткого замыкания в сети внешнего электроснабжения, согласно полученным результатам (рис. 6), составило 0,003 с. Спустя 0,003 с после возникновения короткого замыкания была подана команда на отключение вводного выключателя секции.

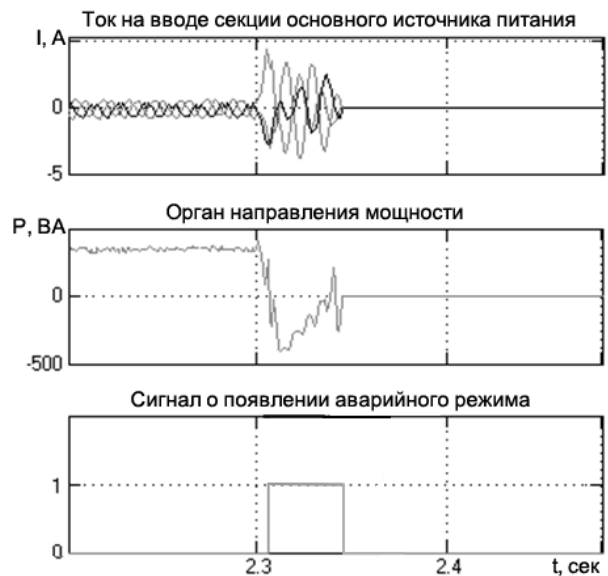


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований усовершенствованного органа направления мощности на лабораторном стенде при трехфазном коротком замыкании в сети внешнего электроснабжения

На рис. 7 приведены результаты испытаний усовершенствованного органа направления мощности при возникновении

двухфазного короткого замыкания в сети внешнего электроснабжения.

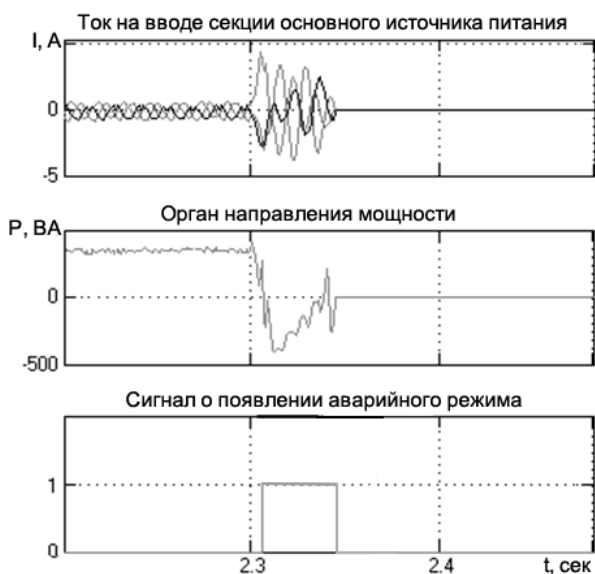


Рис. 7. Результаты экспериментальных исследований усовершенствованного органа направления мощности на лабораторном стенде при двухфазном коротком замыкании в сети внешнего электроснабжения

Согласно полученным результатам (рис. 7), время реакции усовершенствованного пускового органа направления мощности также составило 0,003 с, после чего была подана команда на отключение вводного выключателя секции.

Выводы. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Усовершенствованный алгоритм определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала позволяет обеспечить быстрое затухание аperiodических составляющих тока в переходных режимах, а также выполнить фильтрацию измеряемого сигнала от случайных помех.

2. Усовершенствованный алгоритм определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала за счет интегрального усреднения мгновенных дискретных значений измеряемых сигналов и их производных позволяет определить амплитуду и фазу измеряемого сигнала за время 0,005 с, что делает его предпочтительным для использования в микропроцессорных устройствах быстрого действия автоматического включения резерва.

3. Усовершенствованный алгоритм работы органа направления мощности позволяет повысить надежность и селективность работы устройств быстрого действия

этого автоматического включения резерва при возникновении симметричных и несимметричных коротких замыканий и глубоких посадках напряжения за счет использования в качестве опорного напряжения для определения направления мощности напряжения основного источника питания из органа памяти доаварийного цикла измерений.

4. Результатами математического моделирования и экспериментальных исследований подтверждена эффективность работы усовершенствованных алгоритмов определения ортогональных составляющих измеряемого сигнала и органа направления мощности.

Список литературы

1. **Лямец Ю.Я.** Цифровая обработка сигналов для цепей релейной защиты // Применение микропроцессоров и микроЭВМ в электротехнике: межвуз. сб. науч. тр. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 1988. – С. 11–24.

2. **Ильин В.А., Лямец Ю.Я.** Характеристики алгоритма Фурье // Применение микропроцессоров и микроЭВМ в электротехнике: межвуз. сб. науч. тр. – Чебоксары: Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, 1988. – С. 28–34.

3. **Шнеерсон Э.М.** Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549 с.

4. **Пат. 2326481(13) С1** Российская Федерация, МПК H02J 9/06. Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей и устройство для его осуществления / С.А. Цырук, С.И. Гамазин, В.М. Пупин, В.Н. Козлов, А.О. Павлов; заявитель и правообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский энергетический институт (технический университет)» (ГОУВПО «МЭИ(ТУ)»). – № 2006139086/09; заявл. 07.11.2006; опубл. 07.11.2006.

5. **Пат. 2447565(13) С1** Российская Федерация, МПК H02J 9/06. Способ автоматического включения резервного электропитания потребителей и устройство для его осуществления / С.И. Гамазин, В.А. Жуков, А.И. Куликов, В.М. Пупин, С.А. Цырук; заявитель и правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»» (ФГБОУВПО «НИУ МЭИ»). – № 2011105886/07; заявл. 17.02.2011; опубл. 17.02.2011.

6. **Быстродействующее** устройство АВР с однократным принципом определения нарушения нормального электроснабжения потре-

бителей / В.А. Жуков, В.М. Пупин, С.И. Гамазин и др. // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2011. – № 9. – С. 11–18.

7. **Киреева Э., Пупин В., Гумиров Д.** Современные устройства быстродействующего АВР // Главный энергетик. – 2005. – № 11. – С. 23–25.

8. **Никулов И., Жуков В., Пупин В.** Комплекс БАВР. Быстродействие повышает надежность электроснабжения // Новости электротехники. – 2012. – № 4. – С. 2–4.

9. **Сивокобыленко В.Ф., Деркачев С.В.** Пусковой орган автоматизированного управления переключением на резервный источник питания двигательной нагрузки // Информатика и кибернетика. – 2019. – № 2(16). – С. 5–12.

10. **Сивокобыленко В.Ф., Деркачев С.В.** Анализ переходных процессов в двигательной нагрузке при переключениях питания на резервный источник // Известия высших учебных заведений. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. – 2016. – № 5. – С. 69–74. DOI: 10.17213/0136-3360-2016-5-69-74.

References

1. Lyamets, Yu.Ya. Tsifrovaya obrabotka signalov dlya tsepey reley noy zashchity [Digital signal processing for relay protection circuits]. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov «Primenenie mikroprotessorov i mikroEVM v elektrotekhnike»* [Inter-university collection of research papers “Application of microprocessors and microcomputers in electrical engineering”]. Cheboksary, 1988, pp. 11–24.

2. Il'in, V.A., Lyamets, Yu.Ya. Kharakteristiki algoritma Fur'e [Characteristics of the Fourier Algorithm]. *Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov «Primenenie mikroprotessorov i mikroEVM v elektrotekhnike»* [Inter-university collection of research papers “Application of microprocessors and microcomputers in electrical engineering”]. Cheboksary, 1988, pp. 28–34.

3. Shneerson, E.M. *Tsifrovaya reley naya zashchita* [Digital relay protection]. Moscow: Energoatomizdat, 2007. 549 p.

4. Tsyruk, S.A., Gamazin, S.I., Pupin, V.M., Kozlov, V.N., Pavlov, A.O. *Sposob avtomaticheskogo vklyucheniya rezervnogo*

elektropitaniya potrebiteley i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya [Method of automatic backup power supply switching for consumers and device for its realization]. Patent RF, no. 2326481(13) C1, 2006.

5. Gamazin, S.I., Zhukov, V. A., Kulikov, A.I., Pupin, V.M., Tsyruk, S.A. *Sposob avtomaticheskogo vklyucheniya rezervnogo elektropitaniya potrebiteley i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of automatic backup power supply switching for consumers and device for its realization]. Patent RF, no. 2447565(13) C1, 2011.

6. Zhukov, V.A., Pupin, V.M., Gamazin, S.I., Kulikov, A.I., Tsyruk, S.A. *Bystrodeystvuyushchee ustroystvo AVR s odnokratnym printsipom opredeleniya narusheniya normal'nogo elektrosnabzheniya potrebiteley* [Fast-Acting ATS Device with a One-time Principle for Determining a Violation of Normal Power Supply of Consumers]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont*, 2011, no. 9, pp. 11–18.

7. Kireeva, E., Pupin, V., Gumirov, D. *Sovremennye ustroystva bystrodeystvuyushchego AVR* [Modern devices for high-speed ATS]. *Glavnyy energetik*, 2005, no. 11, pp. 23–25.

8. Nikulov, I., Zhukov, V., Pupin, V. *Kompleks BAVR Bystrodeystvie povyshaet nadezhnost' elektrosnabzheniya* [The complex of FATS performance increases the reliability of power supply]. *Novosti elektrotekhniki*, 2012, no. 4, pp. 2–4.

9. Sivokobylenko, V.F., Derkachev, S.V. *Puskovoy organ avtomatizirovannogo upravleniya pereklyucheniem na rezervnyy istochnik pitaniya dvigatel'noy nagruzki* [Starting device of automated control switching to a backup power source of the motor load]. *Informatika i kibernetika*, 2019, no. 2(16), pp. 5–12.

10. Sivokobylenko, V.F., Derkachev, S.V. *Analiz perekhodnykh protsessov v dvigatel'noy nagruzke pri pereklyucheniyakh pitaniya na rezervnyy istochnik* [Analysis of Transients Processes in Motor Load at Switching on to Reserve Power Supply Source]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. ELEKTROMEKHANIKA*, 2016, no. 5, pp. 69–74. DOI:10.17213/0136-3360-2016-5-69-74.