



ПЕРЕВОД НАГРУЗКИ С ОСНОВНОЙ СЕТИ НА РЕЗЕРВНУЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТИПОВОГО АВР

Червоненко А.П., Котин Д.А., Рожко А.В.

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

Резюме: ЦЕЛЬ. Рассмотреть существующие решение компенсации провалов напряжения и противоаварийных систем. Составить обобщенную электрическую схему исследуемой модели, содержащей автоматический ввод резерва (АВР). Разработать вариант алгоритма работы автоматического ввода резерва, заключающегося в переводе нагрузки в случае возникновения аварийных ситуаций. Составить имитационную модель в среде MatLab, соответствующую разработанной обобщенной электрической схеме системы. МЕТОДЫ. При решении поставленной задачи применялся метод цифрового моделирования, заключающийся в максимальном приближении исследуемой системы реальному объекту реализованный средствами MatLab. РЕЗУЛЬТАТЫ. Произведен обзор существующих устройств компенсации провалов напряжения, рассмотрены особенности каждого из устройств. Продемонстрирован подход к моделированию системы автоматического ввода резерва. Полученный результат, после окончательной доработки, можно использовать для проектирования реальной системы в производственных условиях. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Разработанная модель системы АВР работоспособна, временные показатели удовлетворительны для систем, не предъявляющих завышенных требований к показателям качества и временным интервалам. Для систем, чувствительным к броскам тока во время перевода нагрузки требуются некоторые доработки, сводящиеся к реализации системы быстрого действия автоматического ввода резерва (БАВР). Разработка системы БАВР в настоящее время находится на этапе исследования.

Ключевые слова: просадки напряжения; быстродействующий автоматический ввод резерва; безударное переключение нагрузки.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, НТУ «Сириус», ОАО «РЖД» и Образовательного Фонда «Талант и успех» в рамках научного проекта № 20-38-51007.

Для цитирования: Червоненко А.П., Котин Д.А., Рожко А.В. Перевод нагрузки с основной сети на резервную с применением типового АВР // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 160-171. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-160-171.

LOAD SWITCHING BETWEEN MAIN POWER GRID TO THE BACKUP GRID BY STANDARD AUTOMATIC TRANSFER SWITCH

AP. Chervonenko, DA. Kotin, AV. Rozhko

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Abstract: PURPOSE. To develop a variant of the algorithm for the automatic input of the reserve, which consists in transferring the load in case of emergency situations, to make a simulation model in the MatLab® environment corresponding to the developed generalized electrical scheme of the system. METHODS. When solving the problem, the method of digital modeling was used, which consists in the maximum approximation of the system under study to a real object, implemented by means of MatLab. RESULTS. It is proposed to study the methods of synthesis of digital models of compensation of voltage drops by the example of a study of an automatic reserve transfer system, demonstrating an approach to modeling this system. When developing models in the MatLab environment, the parameters of real technical elements and devices and their digital analogues are taken into account. The issue of creating a digital model of an electric drive system, including a model of an asynchronous motor with a short-circuited rotor, is considered. The

result, after final refinement, can be used to design a real system in production conditions. **CONCLUSIONS.** The developed model of the automatic transfer switch system is operable, the time indicators are satisfactory for systems that do not make excessive demands on performances and time intervals. For systems that are sensitive to current inrushes during load transfer, some improvements are required, which are reduced to the implementation of a high-speed automatic switch system. The development of this system is currently at the research stage, namely, the compilation of a load transfer logic that takes into account the phase matching of electrical circuits.

Keywords: voltage drops; high-speed automatic switch system; Load soft switching.

Acknowledgments: The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, NTU "Sirius", JSC "Russian Railways" and the Educational Foundation "Talent and Success" in the framework of the scientific project No. 20-38-51007.

For citation: Chervonenko AP, Kotin DA, Rozhko AV. Load switching between main power grid to the backup grid by standard automatic transfer switch. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2021; 23(5): 160-171. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-160-171.

Введение

В практике эксплуатации энергосистем достаточно часто происходят случайные события, инициирующие возмущающие воздействия, которые приводят к значительным изменениям величины и формы напряжения, отклонению его параметров от номинальных или согласованных значений. Нарушения в электроснабжении предприятия могут являться скрытым источником незапланированных простоев, а низкое качество питания в свою очередь может оказать негативное влияние как на производительность, так и на ожидаемый срок службы электронных компонентов [1].

В настоящее время существуют разные варианты систем, призванных компенсировать провалы напряжения и производить перевод нагрузки в случае возникновения аварии. Данные системы отличаются сложностью реализации и, как следствие, качеством конечного результата. Причем в некоторых случаях происхождение провалов напряжения может оказывать влияние на применяемое устройство автоматического ввода резерва [2]. Рассмотрим известные на сегодняшний день системы.

Система АВР - достаточно распространенное решение для автоматического ввода резерва. Резервным источником может являться другая линия электропередач, различного типа генераторы, аккумуляторы или накопители. [3]. БАВР – устройство автоматики, обеспечивающее двухстороннее действие на отключение выключателей вводов и на включение секционного выключателя. Преимущества БАВР: сокращение времени реакции на аварийный режим и времени переключения на резервный ввод, соблюдение синфазности источников питания (основного и резервного) и токи включения двигателей, питающихся от поврежденного ввода, не превышают $(2\div 2,5)I_n$ [4]. Разработкой данных устройств занимаются многие передовые компании, примером может являться устройство *ABB SUE 3000* [5]. Следующий из рассматриваемых вариантов связан с практическим применением различных видов накопителей электроэнергии. Например, использование суперконденсаторных систем накопления энергии для обеспечения комфортного электропитания потребителей путем компенсации провалов напряжения позволяет экономить значительные материальные ресурсы. [6].

В связи с перечисленной выше информацией можно констатировать актуальность задачи разработки и исследования технических устройств и алгоритмов управления ими, которые позволили бы компенсировать возмущающие воздействия в системе электроснабжения предприятия, повысить надежность электромеханических систем за счет их безостановочной работы. Предполагаемые научные подходы к разработке позволят обеспечить безостановочность технологических процессов и производств. Из определенной актуальности исследования вытекает цель – разработка варианта алгоритма работы автоматического ввода резерва, заключающегося в переводе нагрузки в случае возникновения аварийных ситуаций, составить имитационную модель в среде *MatLab*, соответствующую разработанной обобщенной электрической схеме системы.

По мнению авторов, существует необходимость создания цифровых моделей систем электроснабжения, в которых электрический привод являлся бы основным потребителем. Причем такие модели должны учитывать характер нагрузки на валу двигателя. Ценность

создания подобных моделей должна заключаться в максимально точном учете блоков и подсистем, реальных электромеханических систем при их имитационном моделировании. Это может позволить разработчикам максимально глубоко погрузиться в физические и алгоритмические процессы, протекающие в реальных системах.

Решение поставленной задачи по разработке и исследованию имитационной модели позволит решить один из главных недостатков существующих систем автоматического ввода резерва – сравнительно не высокое быстродействие (для наиболее чувствительных систем это является определяющим) и не учет момента подключения к резервной линии (согласования фаз), что напрямую отражается на бросках тока. Вопрос оценки влияния провалов напряжения на чувствительное оборудование достаточно подробно рассматривается в работе *Gomez J.C., Morcos M.M.* [7]. Здесь хотелось бы отметить, что не существует универсального решения данной проблемы. Так как потребители по своей сути могут по-разному влиять на разрабатываемый алгоритм или устройство. В частности, речь идет о таких потребителях, которые могут оказывать влияние на форму питающего напряжения, что может повлечь за собой перенастройку, казалось бы, совершенного устройства [8].

Разработанная имитационная модель позволит авторам провести критический анализ классических АВР систем в структуре электроснабжения предприятий.

Нужно отметить, что исследуемая проблема находит отклик среди разных исследователей. Обзор литературы в данном случае представляет собой интерпретацию и обобщение опубликованных по исследуемой теме работ.

Анализ литературы показывает, что и другие исследователи уделяют внимание разработке имитационных моделей, связанных с изучением данного вопроса, например, работа Зацепиной В.И., посвященная моделированию провалов напряжения в системах электроснабжения металлургических производств [9]. Для составления имитационной модели автором используется среда *MatLab Simulink R2014a*. Составленная модель работоспособна, о чем свидетельствуют корректный вид переходных процессов. При разработке модели использовалась библиотека «*Power system*», достаточно часто применяемая многими исследователями. Авторами текущей статьи предлагается разработка модели в библиотеке «*Simscape*». На взгляд разработчиков использование данного раздела *MatLab* может позволить учесть большее количество особенностей реальных объектов и как следствие провести моделирование более детально.

Также хотелось бы отметить, что в журнале «Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики» данная тема рассматривается многими авторами. Примечательна работа Секретарева Ю.А. и Меняйкина Д.А., посвященная расчетам последствий отказов электроснабжения в распределительных сетях с монопотребителем электрической энергии» [10]. Авторами предлагается методика расчета надежности электроснабжения электрических сетей с достаточной степенью точности. Существенным достоинством является то, что для анализа аварийности используются сводки аварий нефтедобывающего предприятия. В данной статье отсутствуют какие-либо имитационные модели или переходные процессы, но работа примечательна с точки зрения расчета ущерба от перерывов в электроснабжении.

Общие точки соприкосновения при проведении исследований и моделировании находятся у результатов текущей статьи и работой Федотова А.И. и Бахтеева К.Р., которая посвящена влиянию форсировки возбуждения синхронных машин на уровень остаточного напряжения при кратковременных нарушениях электроснабжения [11]. Авторами для составления имитационной модели также используются среда *MatLab Simulink*, библиотека силовых элементов *SimPowerSystems*, о которой уже упоминалось выше. Примечательным является и то, что обобщенная структурная схема объекта исследования большей частью совпадает с представляемой в текущей работе. Существенным отличием является использование синхронной электрической машины. Приведены результаты экспериментов с нагрузкой разной мощности. В работе явно не упоминается логика алгоритма работы автоматического ввода резерва.

В зарубежных источниках вопрос, связанный с перебоями в работе энергосистем, также является актуальным. Авторы *Liao H., Milanovic J., Rodrigues M.* предлагают подход к оценке провала напряжения, оценивающий величину его величину независимо от условий работы системы, места и характеристик неисправности [12]. В работе упоминается использование нейронной сети для реализации данного подхода.

Безусловно, данная работа может иметь продолжение в исследованиях и определенное подспорье здесь может оказать работа, посвященная разработке устройства компенсации провалов и прерываний напряжения, выполненная коллективом авторов (Ленёв С.Н., Охлопков А.В., Гужавина В.В., Нестеренко Г.Б., Армеев Д.В., Домахин Е.А., Зырянов В.М., Котин Д.А.) [13]. Авторы представляют сравнительный анализ предлагаемого устройства с традиционными решениями обеспечения бесперебойной работы нагрузки. Корректность

предлагаемых решений подтверждает выполненное имитационное моделирование работы устройства.

Описание имитационной модели

Рассмотрим исследование имитационной модели системы «Автоматический ввод резерва».

Общая электрическая схема объекта исследования приведена на рисунке 1.

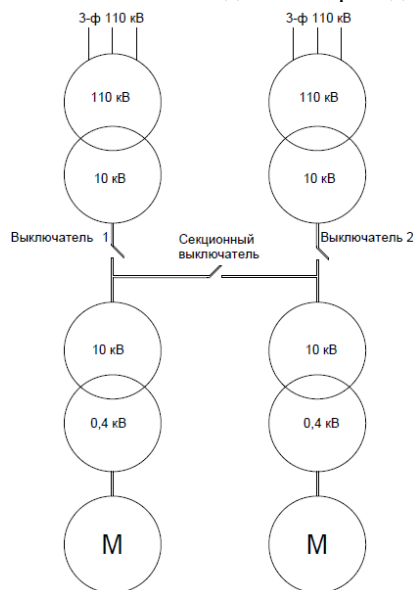


Рис. 1. Общая электрическая схема объекта исследования Fig. 1. General electrical diagram of the study object

Допустим, что рассматриваемая электрохимическая система состоит из двух электрических приводов, каждый из которых имеет свой источник питания и свою нагрузку вентиляторного типа. В одной из «ветвей» присутствует блок, который намеренно формирует аварию – короткое замыкание *a-b-c-ground*. Для удобства характеристики процессов, протекающих в данных ветвях, назовем «ветвь» с аварией «основной», тогда вторую «ветвь» «резервной».

Также следует отметить, что в систему заложены параметры кабельной линии – Z линии, как для одной, так и для другой «ветвей».

Рассмотрим силовую и управляющую схемы автоматического ввода резерва. Следует полагать, что первичная обмотка трансформатора 10/0,4 кВ представляет собой идеальный источник ЭДС, имитирующий работу подстанции верхнего уровня. Динамические переходные процессы в первичной обмотке определяются только реактивным и активным сопротивлением самого трансформатора. Нелинейности самого трансформатора в цифровой модели не учитываются. Рисунок 2 представляет собой полновесную структурную схему всей системы электроснабжения, включая асинхронный двигатель мощностью 45 кВт, работающий без управляемого полупроводникового преобразователя и включаемый прямой подачей напряжения на обмотку статора. В реальных производственных условиях такой режим является недопустимым для двигателей данной мощности. С одной стороны, из-за отсутствия возможности регулирования электропривода, есть большая вероятность получить нежелательные значения пусковых токов, и в принципе, сам по себе прямой пуск является несовременным явлением, что, конечно, может сказаться на энергоэффективности электрической машины [14].

Результаты данной работы могут быть расширены на потребителей любой мощности, в том числе и высокой. В представленной цифровой модели данный режим используется лишь для предельной качественной оценки переходных процессов при импульсных аварийных режимах. То есть рассматривается самый тяжёлый режим работы электропривода при отключении его от питающей сети переменного напряжения и при повторном его включении в ту же самую питающую сеть.

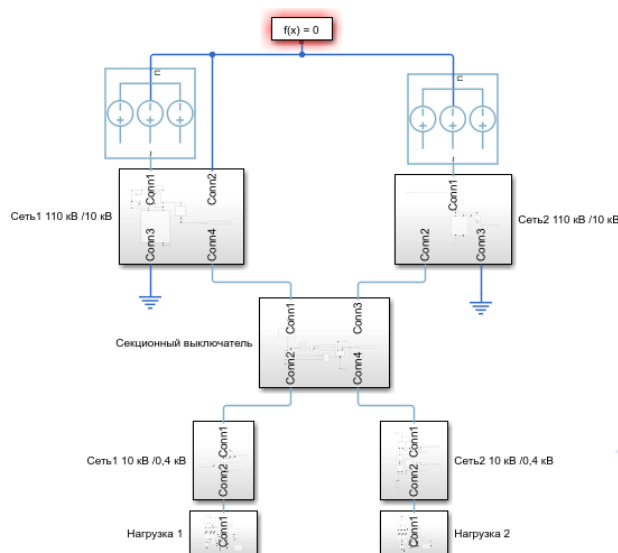


Рис. 2. Структурная схема АВР

Fig. 2. Automatic transfer switch block diagram

На рисунке 3 представлена подсистема «Секционный выключатель». Включение секционного выключателя осуществляется после того, как вышестоящий выключатель отключился.

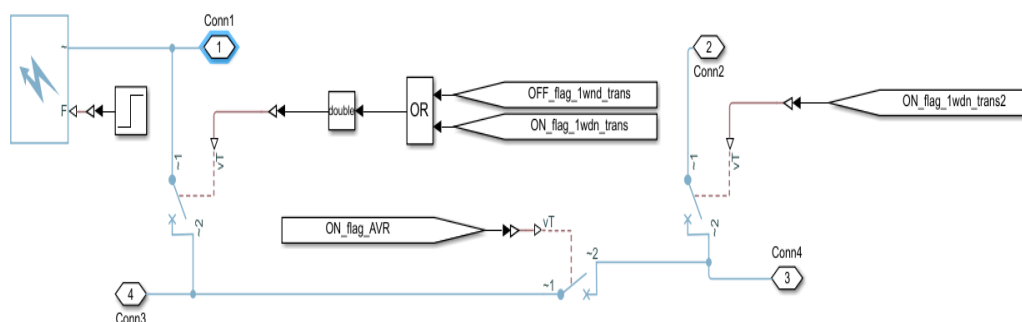


Рис. 3. Подсистема «Секционный выключатель»

Fig. 3. Subsystem «Section switch»

Потребитель представлен моделью асинхронного электропривода мощностью 45 кВт, питающегося от трансформатора мощностью 100 кВА (рис. 4). Модель двигателя представлена в базовых величинах. Расчет параметров электродвигателя осуществлялся на основе Г-образной схемы замещения.

Авторами на приводятся содержимое аналогичных подсистем второй сети, так как они абсолютно идентичны вышеуказанным.

Структурная схема управления АВР представлена на рисунке 5. Цифровая модель силовой части представлена идеальным переключающим устройством с сопротивлением в нормально замкнутом состоянии 10×10^{-6} Ом и сопротивлением в разомкнутом состоянии 10×10^6 Ом.

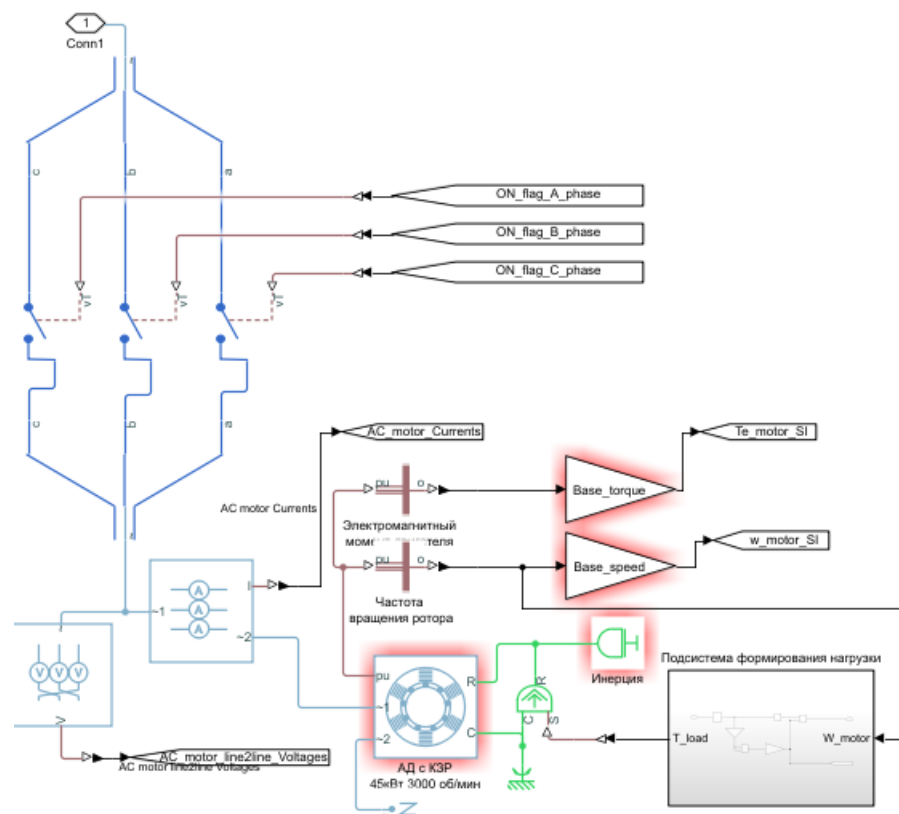


Рис. 4. Подсистема «Нагрузка 1»

Fig. 4. Subsystem «Load 1»

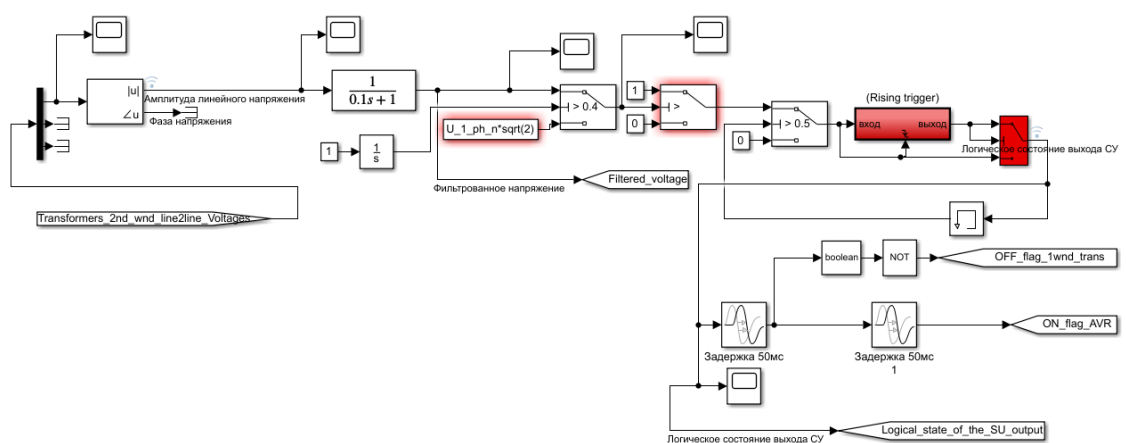


Рис. 5. Структурная схема управляющей части АВР

Fig. 5. Block diagram of the control part of the Automatic transfer switch

Система формирования нагрузки на валу двигателя представлена на рисунке 6. Данная структура имитирует нагрузку вентиляторного типа, при этом момент нагрузки пропорционален квадрату частоты вращения ротора двигателя. Коэффициент k для данных условий моделирования вычислен таким образом, чтобы при номинальной частоте вращения двигатель получил номинальный момент нагрузки на валу, что соответствует рабочей точке работы электропривода реального оборудования (например, насосной установки). Также следует отметить, что во избежание безынерционного алгебраического кольца в системе «частота вращения – момент нагрузки» внесена дополнительная фазовая задержка 10 мс. Эта задержка не влияет на основные исследуемые процессы.

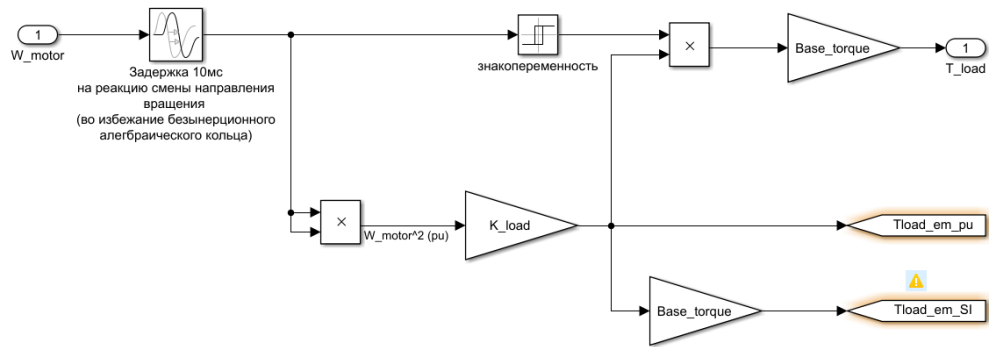


Рис. 6. Структурная схема формирования нагрузки на вал двигателя *Fig. 6. Block diagram of the formation of the load on the motor shaft*

Алгоритм работы управляющей части структуры состоит в следующем:

1. Осуществляется отключение первичной обмотки трансформатора от идеального источника ЭДС. При этом наблюдаются электрохимические переходные процессы на выбеге асинхронного двигателя. Система управления осуществляет отслеживание действующего значения напряжения на обмотке статора асинхронного двигателя.

2. По достижению напряжения $U_s < 0,5U_{\text{ном}}$ осуществляется включение секционного выключателя на резервный источник питания. Следует отметить, что вычисление среднего значения напряжения на статоре АД осуществляется путем вычисления действующего значения синусоидального напряжения и его фильтрации через апериодическое звено 1 порядка. Переходные процессы логических состояний системы управления приведены на Рисунке 7.

Проведение испытаний

Переходные процессы, демонстрирующие вышесказанное представлены на рисунках 8, 9, 10 для «основной» сети и рисунках 11, 12, 13 для «резервной» сети.

Графики переходных процессов, расположенные выше, описывают логику работы системы. При снижении напряжения ниже определенного уровня (данная уставка регулируется в зависимости от типа объекта и в текущих исследованиях принята в значении 50% от номинального напряжения) система управления определяет аварийную ситуацию и отправляет сигнал переключения на резервную сеть. Данный процесс происходит не сразу, так как авторами учитываются временные задержки коммутационного оборудования (на отключение выключателя основной сети и на включение секционного выключателя).

Если описывать работу логики системы управления АВР, то иерархия будет следующей: «Авария» – «Обнаружение уменьшения значения напряжения» – «Отправка сигнала на отключение выключателя основной сети» – «Отключение основной сети» – «Отправка сигнала на включение секционного выключателя» – «Включение секционного выключателя» – «Восстановление работы».

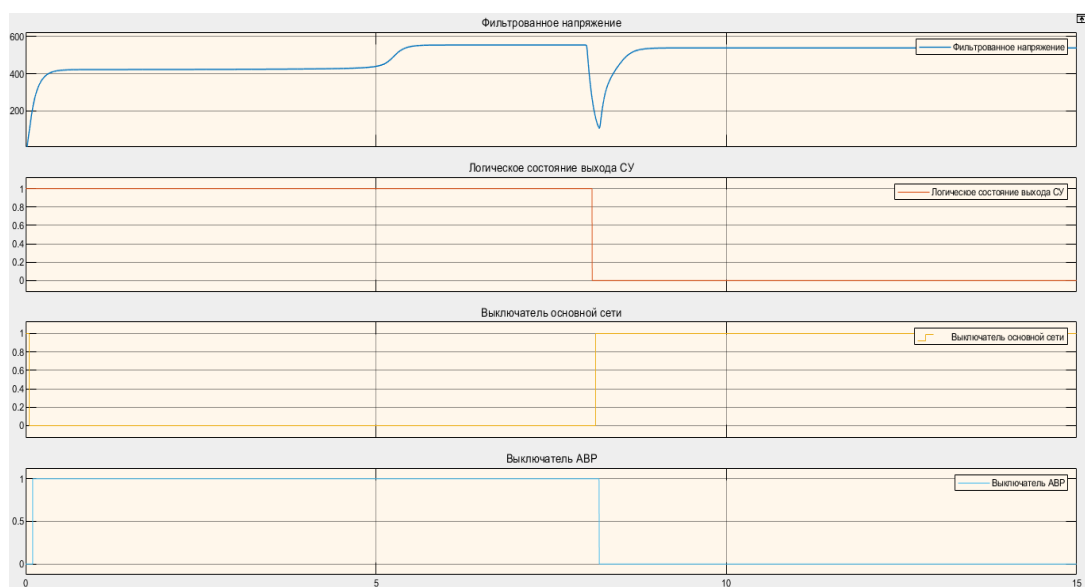


Рис. 7.1. Переходные процессы логических состояний системы управления *Fig7.1. Transients of logical states of the control system*

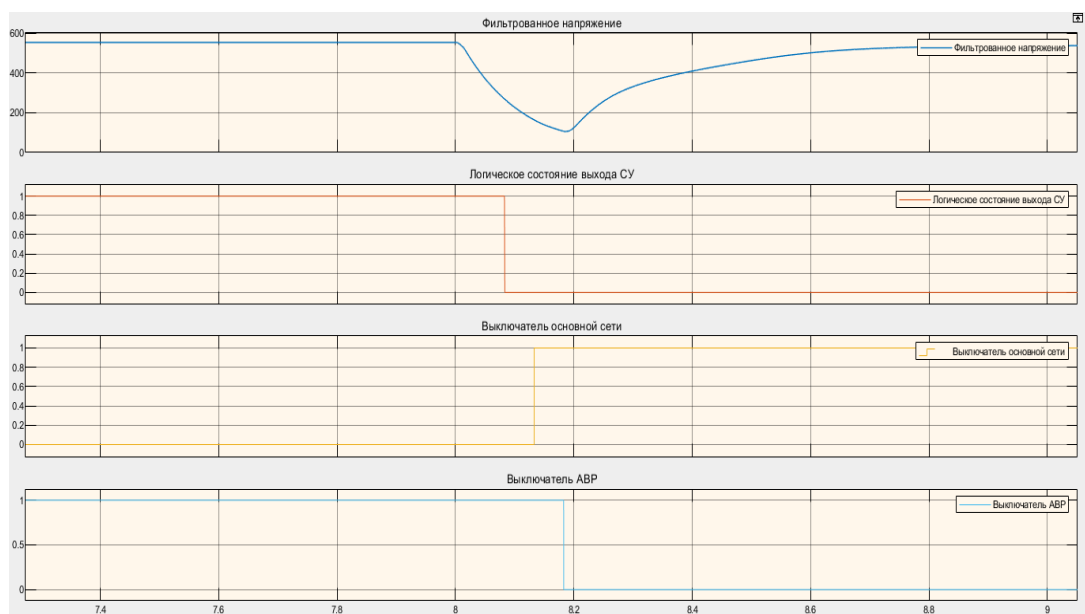


Рис. 7.2. Переходные процессы логических состояний системы управления (укрупненно моменты переключения) *Fig. 7.2. Transients of the logical states of the control system (switching moments in detail)*

«Отправка сигнала на включение секционного выключателя» – «Включение секционного выключателя» – «Восстановление работы».

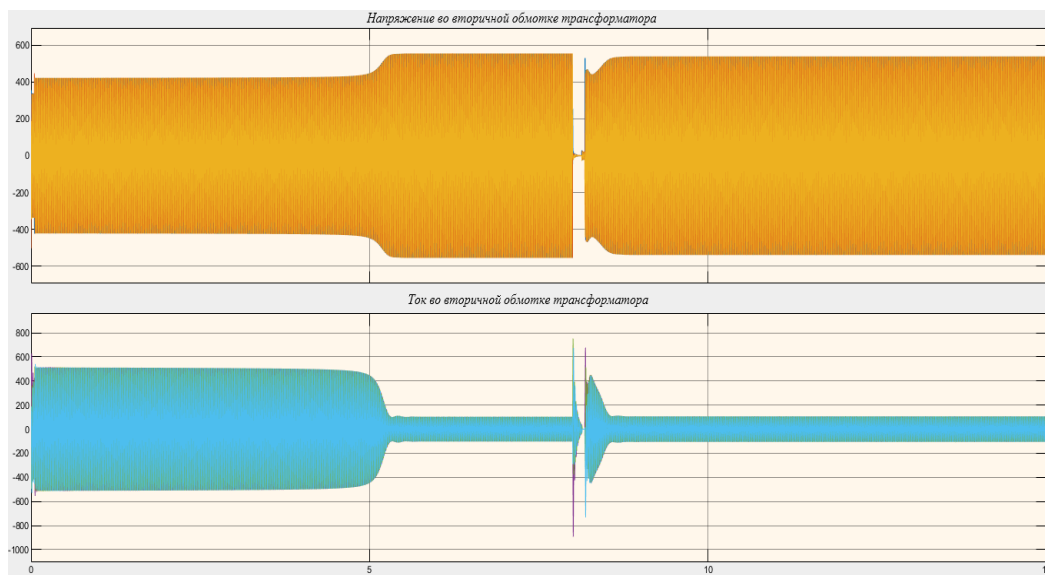


Рис. 8. Напряжение и ток во вторичной обмотке «основной» сети на момент аварии

Fig.8. Voltage and current in the secondary winding of the «main» grid at the moment of an accident

На рисунке 8 демонстрируются переходные процессы по напряжению и току во вторичной обмотке «основной» сети. В момент времени 8 секунд наблюдается включение в работу АВР, по которому можно констатировать максимальное амплитудное значение тока вторичной обмотки (соответствующее аналогичному максимальному току в первичной обмотке). Данный удар является допустимым для превышения тока двигателя в 5 раз от номинального значения при имеющейся разнице фаз между напряжением питающей сети вторичной обмотки и ЭДС электродвигателя на выбеге.

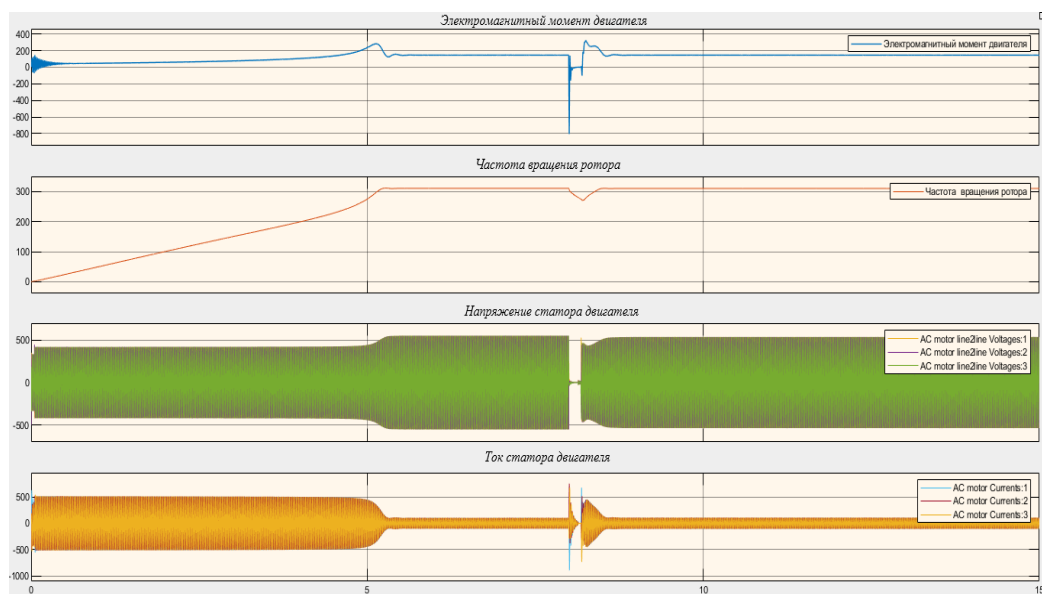


Рис. 9. Электромеханические переходные процессы в двигателе подключенном к «основной» сети на момент аварии

Fig. 9. Electromechanical transients in the motor connected to the «main» grid at the time of the accident

Процессы, описанные на рисунке 8 находят отражение на электромеханических переходных процессах (рисунок 9), в частности, речь идет об электромагнитном моменте двигателя, по которому можно констатировать бросок тока.

Переходные процессы, сопровождающие работу нагрузки «резервной» линии, авторами не приводятся с целью не перегружать работу рисунками с одной стороны, с другой стороны – их характер корректный, а процессов, которые нуждались бы в комментировании не возникает. По характеру графиков переходных процессов для напряжения и тока первичной и вторичной обмоток резервной сети можно констатировать

корректную работу системы с имеющейся динамической просадкой, возникающей в момент подключения нагрузки основной сети.

Если же говорить об электромеханических переходных процессах в двигателе, подключенном к «резервной» сети, то можно констатировать небольшое значение просадки частоты вращения и соответствующего броска электромагнитного момента. В целом можно констатировать бесперебойность работы резервной сети.

Таким образом, заявленный авторами в начале статьи критический анализ классических АВР в структуре электроснабжения предприятий имеет место, так как не учёт момента перевода нагрузки напрямую сказывается на качестве включения и может являться критическим для оборудования. Многими исследователями разработаны различные варианты решения данной проблемы. Отдельно хотелось бы отметить работу Носа О.В., который предлагает интересное решение данного вопроса [15].

Результаты

В работе произведен обзор существующих устройств компенсации провалов напряжения. Обобщенно рассматриваются особенности каждого из устройств. Основной частью является демонстрация подхода к моделированию системы автоматического ввода резерва. Авторами были приложены усилия по максимальному учету допусков, влияющих на точность результата моделирования.

Данный подход можно считать уточненным (что было продемонстрировано авторами и в других публикациях), заключающийся в максимальном приближении структуры схемы модели к реальной реализации. Этот результат, после окончательной доработки, можно использовать для проектирования реальной системы в производственных условиях.

Выводы

Разработанная модель системы АВР работоспособна, временные показатели удовлетворительны. Но данная система не обеспечивает минимизации броска тока в момент перевода нагрузки на резервную сеть. Данный процесс является определяющим в связи с чем возникает необходимость разработки системы, которая бы учитывала данный процесс. Данной системой является БАВР.

Первичная задача выполнена и модель создана.

Разработка системы БАВР в настоящее время находится на этапе исследования, а именно на принятии решения – использование релейных элементов и ключей при составлении логики работы, либо использование программного кода для этой же задачи. У каждого пути есть свои преимущества и недостатки, но все-таки целесообразнее будет использование второго варианта.

Выполнение текущих задач (включая завершение работы по разработки системы БАВР) позволяет приступить к следующей исследовательской задаче – структурно-параметрическому синтезу быстродействующих алгоритмов управления УКПН с накопителями энергии.

Литература

1. Power quality. The overlooked productivity variable [Электронный ресурс]. (https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/power-br011_en-p.pdf).
2. De Santis M., Noce C., Varilone P., et al. Analysis of the origin of measured voltage sags in interconnected networks // Electric Power Systems Research. 2018. V. 154. pp. 391–400.
3. BONPET. Автоматический ввод резерва (ABP): назначение, устройство, схемы [Электронный ресурс] / BONPET. Доступно по: <https://chint-electric.ru/automatic-transfer-switch>. Загл. с экрана (Ссылка активна на: 05.06.2021).
4. СЗЭМО. Быстродействующий автоматический ввод резерва (БАВР) [Электронный ресурс] / СЗЭМО. Доступно по: <https://www.szemo.ru/inzhiniring/elektrosnabzhenie/prosadki-i-perenapryazheniya/bystrodeystvuyushchiy-avtomaticheskii-vvod-rezerva-bavr/> Загл. с экрана (Ссылка активна на: 18.04.2021).
5. ABB High speed transfer device and system SUE 3000 [Электронный ресурс]. (<https://library.e.abb.com/public/b95ac5124a4a0286c125777000265598/1VBX100001P0101%20sue%203000%20en%20presentation.pdf>).
6. Латипов С.Т. Накопители электроэнергии как средство предотвращения нарушений электроснабжения // Молодой ученый. 2017. №16(150). С.187-189. Доступно по URL: <https://moluch.ru/archive/150/42462/>. Ссылка активна на: 06.10.2020.
7. Gomez J.C., Morcos M.M. A simple methodology for estimating the effect of voltage sags produced by induction motor starting cycles on sensitive equipment // Conf. Rec. IAS Annu. Meet. IEEE Ind. Appl. Soc. 2001. V. 2. pp. 1196–1199.
8. Золотов И.И., Шевцов А.А. Влияние потребителей электроэнергии на форму питающего напряжения автономных систем электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21 № 1-2. С. 131-140.

9. Зацепина В.И., Зацепин Е.П., Шачнев О.Я. Моделирование провалов напряжения в системах электроснабжения металлургических производств // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2017. Т. 23. №2. С. 247-251.
10. Секретарев Ю.А., Меняйкин Д.А. Особенности расчетов последствий отказов электроснабжения в распределительных сетях с монопотребителем электрической энергии // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. №2. С. 43-50.
11. Федотов А.И., Бахтеев К.Р. Влияние форсировки возбуждения синхронных машин на уровень остаточного напряжения при кратковременных нарушениях электроснабжения // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2016 № 7-8. С. 64-71;
12. Liao H., Milanovic J., Rodrigues M., et al. Voltage Sag Estimation in Sparsely Monitored Power Systems Based on Deep Learning and System Area Mapping // IEEE Transactions on Power Delivery, 1-1.2018.
13. Ленёв С.Н., Охлопков А.В., Гужавина В.В., и др. Универсальное устройство компенсации провалов и прерываний напряжения для обеспечения надёжной работы электроприёмников ПАО «Мосэнерго» // Электрические станции. 2020. № 11. С. 14-24.
14. Бурков А.Ф., Юрин В.Н., Аветисян В.Р. Исследование возможностей повышения энергоэффективности асинхронных двигателей Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. № 20(9-10). С.92-100.
15. Нос О.В. Построение алгоритмов синхронизации трехфазных напряжений автономного инвертора и сети // Автоматрия. 2017. Т. 53. № 4. С. 66–73.

Авторы публикации

Червоненко Андрей Павлович – аспирант, Новосибирский государственный технический университет, Россия, Новосибирск. Email: andrey-guitar@bk.ru.

Котин Денис Алексеевич – канд. техн. наук, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок, Новосибирский государственный технический университет, Россия, Новосибирск. Email: d.kotin@corp.nstu.ru.

Рожко Анастасия Владимировна - ассистент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, Новосибирский государственный технический университет, Россия, Новосибирск. Email: rozhko@corp.nstu.ru.

References

1. Power quality. *The overlooked productivity variable* [Elektronnyi resurs]. (https://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/br/power-br011_-en-p.pdf).
2. De Santis M, Noce C, Varilone P, et al. Analysis of the origin of measured voltage sags in interconnected networks. *Electric Power Systems Research*. 2018;154:391–400.
3. BONPET. *Avtomaticheskii vvod rezerva (AVR): naznachenie, ustroystvo, skhemy* [Elektronnyi resurs] / BONPET. Rezhim dostupa: [https://chint-electric.ru/automatic-transfer-switch/Zagl.s_ekrana_\(data_obrashcheniya:_05.06.2021\)](https://chint-electric.ru/automatic-transfer-switch/Zagl.s_ekrana_(data_obrashcheniya:_05.06.2021)).
4. SZEMO. *Bystrodeystviyushchii avtomaticheskii vvod rezerva (BAVR)* [Elektronnyi resurs] / SZEMO. Rezhim dostupa: [https://www.szemo.ru/inzhiniring/elektrosnabzhenie/prosadki-iperenapryazheniya/_bystrodeystviyushchiy-avtomaticheskii-vvod-rezerva-bavr/_Zagl.s_ekrana_\(data_obrashcheniya:_18.04.2021\)](https://www.szemo.ru/inzhiniring/elektrosnabzhenie/prosadki-iperenapryazheniya/_bystrodeystviyushchiy-avtomaticheskii-vvod-rezerva-bavr/_Zagl.s_ekrana_(data_obrashcheniya:_18.04.2021)).
5. ABB *High speed transfer device and system SUE 3000* [Elektronnyi resurs]. (https://library.e.abb.com/public/b95ac5124a4a0286c125777000265598/1VBX100001P0101%20sue%203000_hsts%20en%20presentation.pdf);
6. Latipov ST. Nakopiteli elektroenergii kak sredstvo predotvrashcheniya narushenii elektrosnabzheniya. *Molodoi uchenyi*. 2017;16(150):187-189.
7. Gomez JC, Morcos MM. *A simple methodology for estimating the effect of volt-age sags produced by induction motor starting cycles on sensitive equipment*. Conf. Rec. IAS Annu. Meet. IEEE Ind. Appl. Soc. 2001;2:1196–1199.
8. Zolotov II, Shevtsov AA. *Vliyanie potrebitelei elektroenergii na formu pitayushchego napryazheniya avtonomnykh sistem elektrosnabzheniya. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. PROBLEMY ENERGETIKI*. 2019;2:1-2:131-140.
9. Zatsepina VI, Zatsepin EP, Shachnev OYa. *Modelirovanie provalov napryazheniya v sistemakh elektrosnabzheniya metallurgicheskikh proizvodstv. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017;23(2):247-251.

10. Sekretarev YuA, Menyaikin DA. *Osobennosti raschetov posledstviy otkazov elektrosnabzheniya v raspredelitel'nykh setyakh s monopotrebitелем электрической энергии. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. PROBLEMY ENERGETIKI. 2020;22(2):43-50.*

11. Fedotov AI, Bakhteev KR. *Vliyanie forsirovki возбуждения синхронных машин на уровень остаточного напряжения при кратковременных нарушениях электроснабжения. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. PROBLEMY ENERGETIKI. 2016;7-8:64-71.*

12. Liao H, Milanovic J, Rodrigues M, et al. *Voltage Sag Estimation in Sparsely Monitored Power Systems Based on Deep Learning and System Area Mapping. IEEE Transactions on Power Delivery, 1–1.2018.*

13. Lenev SN, Okhlopov AV, Guzhavina VV, et al. *Universal'noe ustroystvo kompensatsii provalov i preryvaniy napryazheniya dlya obespecheniya nadezhnoi raboty elektropriemnikov PAO «Mosenergo». Elektricheskie stantsii. 2020;11:14-24.*

14. Burkov AF, Yurin VN, Avetisyan VR. *Issledovanie vozmozhnostei povysheniya energoeffektivnosti asinkhronnykh dvigatelei Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. PROBLEMY ENERGETIKI. 2018;20(9-10):92-100;*

15. Nos OV. *Postroenie algoritmov sinkhronizatsii trekhfaznykh napryazhenii avtonomnogo invertora i seti. Avtometriya. 2017;53(4):66–73.*

Authors of the publication

Andrey P. Chervonenko – Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk. Email: andrey-guitar@bk.ru.

Denis A. Kotin – Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk. Email: d.kotin@corp.nstu.ru.

Rozhko V. Anastasia – Novosibirsk State Technical University, Russia, Novosibirsk. Email: rozhko@corp.nstu.ru.

Получено

25.10.2021г.

Отредактировано

29.10.2021г.

Принято

29.10.2021г.