

УДК 621.311:681.5

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА И ПРИНЦИП РАБОТЫ БЛОКА КОНТРОЛЯ  
СДВИГА ФАЗ УСТРОЙСТВА БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА**



**BLOCK DIAGRAM AND OPERATING PRINCIPLE OF THE PHASE SHIFT  
CONTROL UNIT OF A HIGH-SPEED AUTOMATIC DEVICE  
ENABLING THE RESERVE**

**Беседин Евгений Алексеевич**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры электроснабжения  
промышленных предприятий,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
omega54@mail.ru

**Барчо Руслан Асланович**

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
barcho.ruslan.96@mail.ru

**Джикаев Вячеслав Дмитриевич**

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
dzhikaev13s@gmail.com

**Власко Павел Станиславович**

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
pvlasko@inbox.ru

**Бондарь Алексей Витальевич**

студент,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
alexbondar123@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные проблемы обеспечения эффективной работы противоаварийной автоматики электроэнергетических систем. Отдельно подробно рассмотрена работа и принцип работы контроля сдвига фаз быстродействующего автоматического включения резерва в нормальном режиме, при коротком замыкании на шинах распредустройства и за его пределами. Разработана модель данного блока в среде Simulink пакета MatLab и получены диаграммы работы данной модели. Сделаны выводы об эффективности работы блока контроля сдвига фаз.

**Ключевые слова:** противоаварийная автоматика электроэнергетических систем, быстродействующее автоматическое включение резерва, блок контроля сдвига фаз, нормальный режим, режим короткого замыкания, модель блока в среде Simulink пакета MatLab.

**Besedin Evgeniy Alexeevich**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of  
Power Supply of Industrial Enterprises,  
Kuban State Technological University  
omega54@mail.ru

**Barcho Ruslan Aslanovich**

Student,  
Kuban State Technological University  
barcho.ruslan.96@mail.ru

**Dzhikaev Vyacheslav Dmitrievich**

Student,  
Kuban State Technological University  
dzhikaev13s@gmail.com

**Vlasko Pavel Stanislavovich**

Student,  
Kuban State Technological University  
pvlasko@inbox.ru

**Bondar Alexey Vitalievich**

Student,  
Kuban State Technological University  
alexbondar123@gmail.com

**Annotation.** The article deals with the main problems of ensuring the effective operation of emergency automation of electric power systems. Separately, the work and the principle of operation of the phase shift control of the high-speed automatic reserve switch-on in normal mode, with a short circuit on the switchgear buses and beyond is considered in detail. A model of this block is developed in the Simulink environment of the matlab package and diagrams of the operation of this model are obtained. Conclusions are made about the efficiency of the phase shift control unit

**Keywords:** emergency automation of electric power systems, high-speed automatic switching on of the reserve, phase shift control unit, normal mode, short-circuit mode, block model in the Simulink environment of the Matlab package.

Процесс производства, передачи и распределения электроэнергии является динамичным, характеризующимся необходимым равенством в каждый момент времени генерируемой и требуемой потребителями электрической энергии (балансом мощности) и подверженным случайным возмущающим воздействиям, относительно слабым (малым), обусловленным случайно изменяющейся нагрузкой, и интенсивным (большим), связанным с повреждениями и отключениями генерирующего и передающего энергию электрооборудования.

Большие собственно возмущающие воздействия вызывают отклонения от динамического равновесия, которые могут привести к нарушениям синхронной параллельной работы электрических станций и развиться в общесистемную аварию с прекращением функционирования тепловых электростанций и полной потерей электроснабжения.

Обычно электроэнергетические системы работают в нормальном режиме, в котором основные режимные параметры: амплитуды (действующие значения) – далее просто напряжение и частота напряжения – при непрерывных изменениях нагрузки остаются практически неизменными, т.е. номинальными; распределение активной и реактивной мощностей между генерирующими электроэнергию управляемыми объектами оптимально, а перетоки мощностей по передающим электроэнергию линиям связи между электроэнергетическими системами и их объединениями, образующими единую энергосистему, находятся в пределах, ограничиваемых нормируемым запасом мощности по статической устойчивости параллельной работы электрических станций. К нормальному относится и неоптимальный, обычно кратковременный, режим по мощности, при котором напряжения и частота не выходят за пределы длительно допустимых ГОСТ отклонений.

Нормальный режим обеспечивается автоматическим управлением электроэнергетическими объектами арсеналом управляющих автоматических устройств и систем.

Основная задача автоматического управления нормальным режимом – обеспечить производство и передачу электроэнергии при минимальных затратах энергоресурсов (условного топлива) и обеспечить надежность электроснабжения потребителей электроэнергией требуемого качества и исправность электроэнергетических управляемых объектов.

Под воздействием внезапных интенсивных возмущений в виде неизбежных коротких замыканий или случайных отключений генерирующих или передающих электроэнергетических объектов ЭЭС, ОЭС или ЕЭС в целом переходят в утяжеленный или в аварийный режим.

Утяжеленный режим характеризуется отклонениями режимных параметров, обычно пониженными значениями напряжений и частоты, допустимыми лишь кратковременно. Перетоки мощностей могут превышать длительно допустимые в нормальном режиме, но не доходить до опасных для статической устойчивости значений. Задача автоматического управления в утяжеленном режиме – не допустить его дальнейшего утяжеления, что может привести к переходу в аварийный режим; устранить причину, вызвавшую его и восстановить нормальный режим.

Если хотя бы один из режимных параметров достигает недопустимых даже кратковременно значений, режим становится аварийным.

Аварийный режим развивается из утяжеленного или непосредственно вследствие интенсивных возмущающих воздействий. Основными задачами автоматического управления в аварийном режиме являются: выявление и устранение, если возможно, возмущающего воздействия; предотвращение дальнейшего развития аварийной ситуации и ее распространения; восстановление нормального режима.

Автоматическое управление в утяжеленном и, особенно, аварийном режимах производится управляющими автоматическими устройствами противоаварийного управления. В результате противоаварийного управления наступает послеаварийный режим или восстанавливается нормальный режим работы. Задача автоматического управления в послеаварийном режиме состоит в скорейшем восстановлении нормального режима.

При организации противоаварийного управления реализуется еще и ремонтный режим, в частности ремонтная схема ЭЭС, характеризующийся выводом в ремонт отдельных электроэнергетических объектов.

Как показывает анализ, АВР является важным средством повышения надежности работы энергосистем. Успешность действия устройств АВР составляет 90–95 %. Эффективность работы устройств АВР, так же, как и устройств АПВ, определяется тем, как быстро после подачи напряжения будут достигнуты нормальные параметры производственного процесса. Это в свою очередь зависит от времени перерыва электропитания и от того, произойдет ли после такого перерыва самозапуск электродвигателей и как быстро они достигнут доаварийной производительности. Очевидно, что работа устройств АВР не может считаться эффективной, если не произойдет самозапуска двигателей потребителей или если за время самозапуска технологические параметры достигнут критических значений и будет остановлено производство.

Данное обстоятельство требует комплексного решения вопросов в части выбора: схемы электропитания (многостороннего без устройств АВР или радиального с устройствами АВР), устанавливаемых устройств релейной защиты, применяемых типов электродвигателей, характеристик двигателей и нагрузки, типов коммутационной аппаратуры, схем управления ею и устройств технологических блокировок.

В настоящее время все более широкое применение находят устройства быстрого действия автоматического включения резерва, примерами которых могут служить устройства, приведенные в [3, 4]. Для повышения быстрого действия срабатывания этих устройств параллельно секционному выключателю подключен тиристорный коммутатор, который первым срабатывает и подключает аварийный участок сети к резервному источнику питания. Через короткое время срабатывает и секционный выключатель, а тиристорный коммутатор отключается в бестоковую паузу.

Для того, чтобы данное устройство эффективно работало, необходимо, чтобы устройство БАВР срабатывало в необходимых случаях и блокировалось в тех случаях, когда срабатывание данного устройства недопустимо из-за возможности выхода из строя и резервного источника, наряду с основным.

В устройстве [4] имеется блок контроля сдвига фаз, который анализирует направление протекания тока короткого замыкания. Если ток короткого замыкания направлен от шин распределительного устройства к системе, то значит точка короткого замыкания расположена за пределами системы электроснабжения, и включение АВР допустимо. Если же ток короткого замыкания направлен от системы к шинам распределительного устройства, то включение АВР в таком случае недопустимо, так как точка короткого замыкания расположена внутри распределительного устройства, и включение АВР обесточит обе системы шин. Структурная схема данного устройства приведена на рисунке 1 (нумерация принята как в [4]).

Блок 7 контроля сдвига фаз содержит (рисунок 1) электронный переключатель 37, второй логический элемент 38 ИЛИ, третий логический элемент 39 ИЛИ, соответствующие RS-триггер 40, интегрирующий блок 41 и пороговый элемент 42. При этом электронный переключатель 37 состоит из двух переключающих элементов. Первый переключающий элемент 43 имеет информационные выходы 44 и 45, информационный вход 46 и вход 47 управления. Вторым переключающим элементом 48 имеет информационные выходы 49 и 50, информационный вход 51 и вход 52 управления. Выходы 44 и 49 связаны через элемент 38 ИЛИ с входом R триггера 40. Выходы 45 и 50 – через элемент 39 ИЛИ с входом S триггера 40.

При этом вход 47 первого переключающего элемента 43 образует первый управляющий вход 26 блока 7 контроля сдвига фаз, а вход 46 образует второй информационный вход 36 блока 7 контроля сдвига фаз. Вход 52 второго переключающего элемента 48 образует второй управляющий вход 35 блока 7 контроля сдвига фаз, а вход 51 образует первый информационный вход 27 блока 7 контроля сдвига фаз. Выход триггера 40 через интегрирующий блок 41 связан с входом порогового элемента 42, выход которого является выходом блока 7 контроля сдвига фаз.

В нормальном режиме сдвиг по фазе между током и напряжением зависит от характера нагрузки. При активной нагрузке кривые тока (I) и напряжения (U) совпадают, при индуктивной нагрузке ток (I) отстает от напряжения на 90 градусов, а при емкостной нагрузке – опережает его на такой же угол (I). Следовательно, в нормальном режиме работы возможный диапазон изменения сдвига фаз между током и напряжением составляет от нуля до  $\pm 90$  градусов. Такой же диапазон изменения сдвига фаз и при коротком замыкании на шинах подстанции (см. рис. 2).

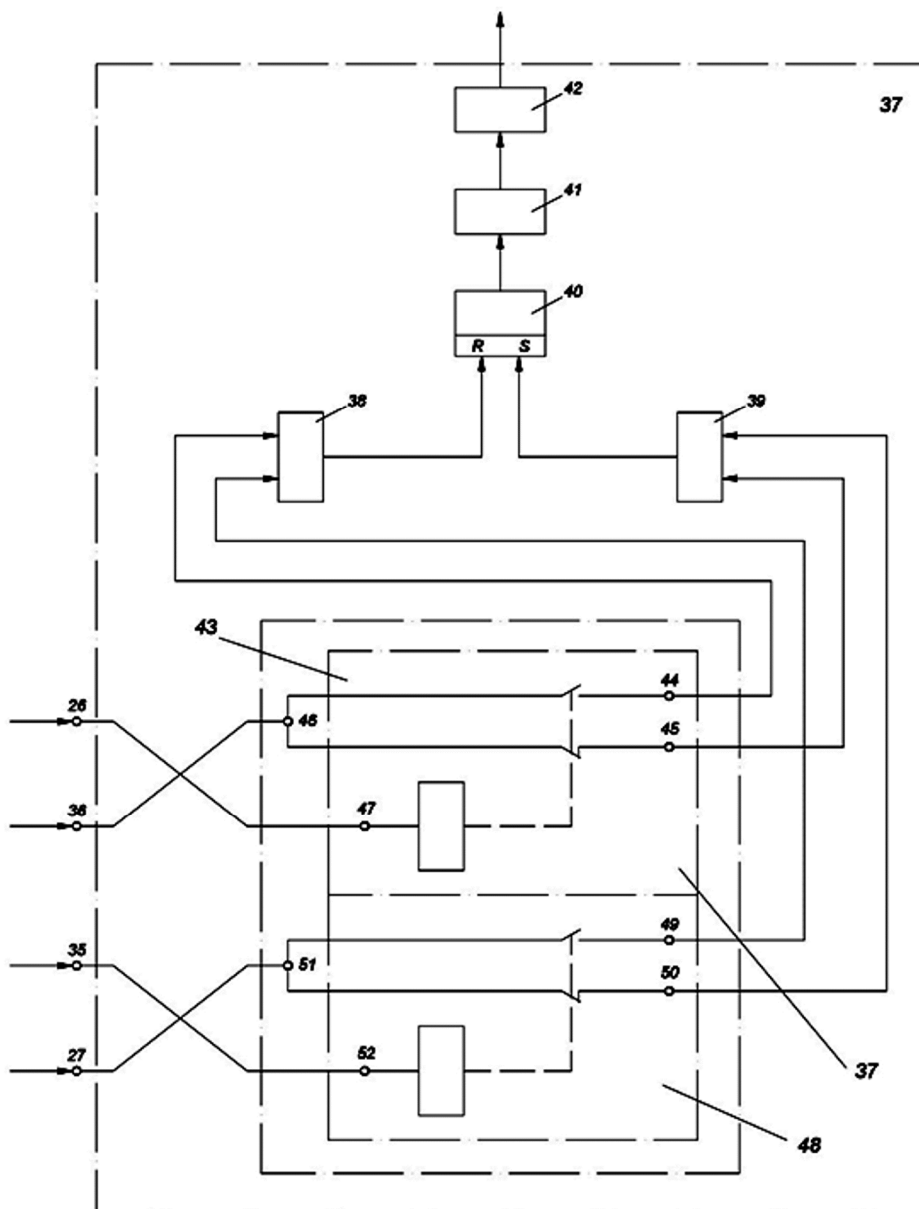


Рисунок 1 – Структурная схема контроля сдвига фаз

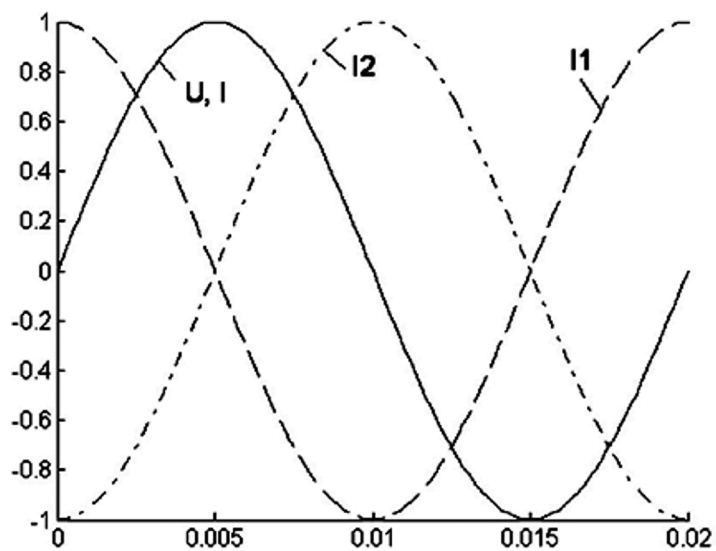


Рисунок 2 – Кривые токов и напряжения в нормальном режиме

При внешнем коротком замыкании токи меняют свое направление на противоположное. Это соответствует изменению их фаз на 180 градусов. Графически это можно получить симметричным отражением приведенных выше кривых тока относительно оси абсцисс. В этом случае при активной нагрузке сдвиг между током и напряжением составляет 180 градусов (кривые находятся в противофазе), а при индуктивной и емкостной нагрузках разность фаз составит также 90 градусов, а ее знак поменяется на противоположный. И возможный диапазон изменения фаз между током и напряжением составляет от  $\pm 90$  градусов до 180 градусов.

Следовательно, при изменении направления мощности разность фаз между током и напряжением по абсолютной величине превышает 90 градусов.

Данный алгоритм работы блока реализован в виде модели в среде Simulink пакета MatLab, приведенной на рисунке 3.

Модель имеет два входа – для напряжения (№ 1) и для тока (№ 2) защищаемой шины. В каждой ветви находится триггер (**Trigger1** и **Trigger2**), на выходе которых формируется сигнал 100 единиц при положительном сигнале на входе триггеров и равный нулю при отрицательном входном сигнале. Сигналы с выходов данных триггеров поступают на входы сумматора (**Summator**), где происходит их алгебраическое сложение. На выходе сумматора формируется кривая, имеющая две положительные ступени 100 и 200 единиц и две таких же отрицательных ступени. Этот сигнал поступает на вход ограничителя (**Saturator**), который ограничивает положительный сигнал до 100 единиц и не пропускает отрицательную часть сигнала. В результате на выходе ограничителя получим импульс, который равен 100 единицам при положительных значениях кривых тока и напряжения и равен нулю в иных случаях. Это демонстрирует рисунок 4, где первая и вторая кривые отображают изменения напряжения и тока соответственно, а третья кривая представляет собой сигнал на выходе ограничителя.

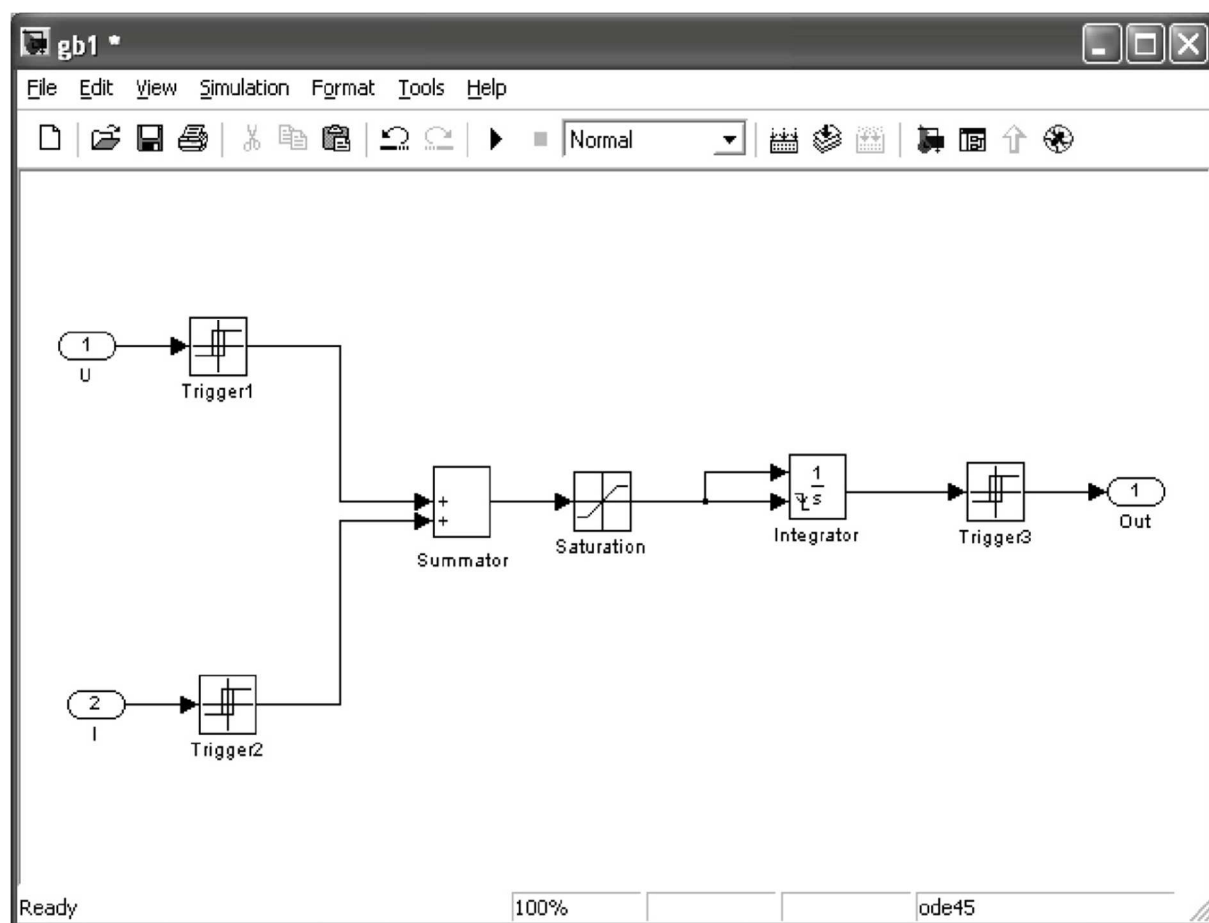


Рисунок 3 – Модель блока контроля сдвига фаз

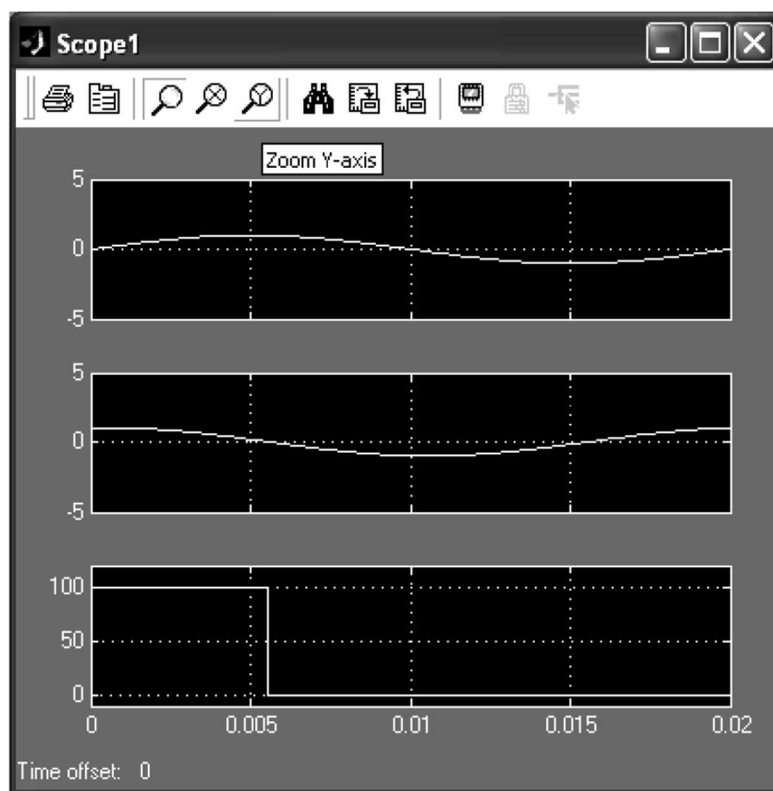


Рисунок 4 – Диаграммы сигналов модели

Данный прямоугольный импульс подается на интегратор (Integrator), где производится его интегрирование. Начинается интегрирование с нулевого значения. Сигнал на выходе представляет собой линейно нарастающую зависимость, процесс интегрирования завершается при прохождении через интегратор заднего фронта импульса, после чего интегратор сбрасывается в исходное состояние.

Максимальное значение сигнала на выходе интегратора зависит от ширины импульса и, следовательно, от сдвига фаз между током и напряжением. При сдвиге фаз 90 градусов этот сигнал достигает значения 0,5. Поэтому он подается на третий триггер (Trigger3), который срабатывает при достижении входного сигнала 0,5, при этом на его выходе формируется единичный сигнал управления системой быстродействующего АВР.

В нормальном режиме и в режиме короткого замыкания на шинах подстанции сдвиг фаз не превышает 90 градусов. При этом в зависимости от сдвига фаз максимальное значение сигнала на выходе интегратора колеблется от 0,5 до 1. Поэтому в систему управления БАВР с выхода третьего триггера каждый период будет поступать единичный блокировочный сигнал запрета срабатывания АВР.

При внешнем коротком замыкании в зависимости от сдвига фаз максимальное значение сигнала на выходе интегратора колеблется от 0 до 0,5. Поэтому в систему управления БАВР с выхода третьего триггера блокировочный сигнал поступать не будет.

Таким образом, полученная модель блока направления мощности позволяет моделировать динамические процессы в системе электроснабжения при наличии быстродействующего АВР с блоком контроля сдвига фаз.

Для дальнейшего использования данной модели с целью анализа систем электроснабжения было произведено ее маскирование и размещение в пользовательской библиотеке Simulink-5.

### Литература

1. Барзам А.Б. Системная автоматика. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 446 с.
2. Автоматика электроэнергетических систем: Учеб. пособие для вузов / О.П. Алексеев [и др.]; Под ред. В.Л. Козиса. и Н.И. Овчаренко. – М. : Энергоиздат, 1981. – 480 с.

3. А.С. 1709462 СССР Н 02 J 9/06. Устройство быстродействующего автоматического включения резерва / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин. – № 4727170/07. – Заявл. 07.08.89. – Оpubл. 30.01.92. – Бюл. № 4.
4. А.С. 1688349 СССР Н 02 J 9/06. Устройство для автоматического включения резервного питания потребителей / Б.А. Коробейников, А.И. Ищенко, Е.А. Беседин, А.И. Тимчук. – № 4651180/07. – Заявл. 06.01.89. – Оpubл. 30.10.91. – Бюл. № 40.

### References

1. Barzam A.B. System Automatics. – 4-th edition, revised and supplemented. – М. : Energoatomizdat, 1989. – 446 p.
2. Automation of the electrical power systems: Textbook for high schools / O.P. Alekseev [et al.]; Edited by V.L. Kozis and N.I. Ovcharenko. – М. : Energoizdat, 1981. – 480 p.
3. A.S. 1709462 SSR N 02 J 9/06. The device of the reserve quick-acting automatic switching-on / B.A. Korobeinikov, A.I. Ischenko, E.A. Besedin. – № 4727170/07. – Application. 07.08.89. – Republished 30.01.92. – Coll. № 4.
4. A.S. 1688349 CSSR N 02 J 9/06. Device for the consumers automatic switching-on of the reserve power supply / B.A. Korobeinikov, A.I. Ischenko, E.A. Besedin, A.I. Timchuk. – № 4651180/07. – Application. 06.01.89. – Republished 30.10.91. – Coll. № 40.