

УДК 621.316.925(088.8)

**РАЗРАБОТКА СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВР  
С УЛУЧШЕННЫМИ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ  
НА БАЗЕ ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ**



**DEVELOPMENT OF A CONTROL SCHEME FOR A HIGH-SPEED AVR  
WITH IMPROVED INFORMATION CHARACTERISTICS BASED  
ON A VACUUM CIRCUIT BREAKER**

**Беседин Евгений Алексеевич**

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

**Гудименко Николай Александрович**

студент,  
Кубанский государственный технологический университет  
sprint071@list.ru

**Климов Андрей Андреевич**

студент,  
Кубанский государственный технологический университет  
aklimov150997@gmail.com

**Сафонов Тихон Сергеевич**

студент,  
Кубанский государственный технологический университет  
safonovtikhon4@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассмотрены основные области применения быстродействующих устройств на основе применения современных высоковольтных вакуумных выключателей. Рассмотрен алгоритм работы схемы управления устройства быстродействующего автоматического включения резерва с улучшенными характеристиками на основе высоковольтного вакуумного выключателя. Приведена структурная схема управления с улучшенными характеристиками для быстродействующего АВР с вакуумным выключателем и дано описание ее работы.

**Ключевые слова:** противоаварийная автоматика электроэнергетических систем, быстродействующее автоматическое включение резерва с улучшенными характеристиками, вакуумный выключатель, силовая часть быстродействующего автоматического включения резерва, тиристорный коммутатор.

**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

**Gudimenko Nikolay Alexandrovich**

Student,  
Kuban State Technological University  
sprint071@list.ru

**Klimov Andrey Andreevich**

Student,  
Kuban State Technological University  
aklimov150997@gmail.com

**Safonov TikhonSergeevich**

Student,  
Kuban State Technological University  
safonovtikhon4@gmail.com

**Annotation.** The article discusses the main areas of application of high-speed devices based on the use of modern high-voltage vacuum circuit breakers. The algorithm of operation of the control circuit of a high-speed automatic reserve switching device with improved characteristics based on a high-voltage vacuum circuit breaker is considered. A control block diagram with improved characteristics for a high-speed AVR with a vacuum circuit breaker is presented and a description of its operation is given.

**Keywords:** emergency automation of electric power systems, high-speed automatic switching on of the reserve with improved characteristics, vacuum circuit breaker, power part of the high-speed automatic switching on of the reserve, thyristor switch.

**П**ериод развития релейной защиты в течение века по настоящее время включает в себя этап применения сначала электромеханических систем, затем ламповой электронной техники, далее этап применения дискретных полупроводниковых схем и, наконец, этап внедрения интегральных схем различной степени сложности. Эти этапы нельзя разделить между собой, они плавно переходили друг к другу. Можно только отметить моменты их появления. Сейчас и в ближайшем будущем будут использоваться все эти типы устройств.

Каждый этап имеет свои характерные особенности. Так, в процессе развития электромеханических систем в целом были сформулированы принципы построения устройств защиты оборудования электрических станций и систем, ориентированные в

основном на контроль интегральных параметров тока, напряжения и их соотношения. Используя полупроводниковые компоненты, стремились, в первую очередь, улучшить массогабаритные показатели и повысить надежность.

Новая аналоговая элементная база включает в себя универсальные операционные усилители, компараторы, перемножители сигналов, коммутаторы, стабилизаторы напряжения, аналогово-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Аналоговые интегральные схемы позволяют также создавать различные специализированные средства автоматизации на их основе. Применение аналоговых интегральных схем увеличивает точность быстродействия и надежность защит, а также упрощает их процесс изготовления, наладки, обслуживания и значительно улучшает показатели габаритов и массы.

Современные средства релейной защиты в большинстве случаев являются стационарными системами, реагирующими на интегральные значения (действующие, средние и т.д.) переменных промышленной частоты. Поэтому их уставки срабатывания соответствуют, как правило, установившимся процессам короткого замыкания. Такой принцип контроля может быть отнесен к статическому. Точность его предельно высока тогда, когда переходный процесс в защищаемом оборудовании заканчивается за время, меньшее времени, отводимого на контроль. Сокращение же времени, отводимого на контроль, с одной стороны, и увеличение длительности переходных процессов в электрических системах, с другой стороны, приводит к тому, что во время контроля объект еще находится в переходном режиме. Следовательно, защита должна принять решение о состоянии объекта на основании измерения или контроля нестационарных сигналов.

Принятое решение релейная защита и противоаварийная автоматика также должна быстро реализовать, так как большое время срабатывания коммутационной аппаратуры сводит на нет быстродействие системы распознавания аварийной ситуации. С этой целью используются различные алгоритмы ускорения коммутации силовых электрических цепей. На базе существующих масляных выключателей, имеющих достаточно большое время срабатывания, наиболее популярен алгоритм опережающего включения масляного секционного выключателя на короткое замыкание в момент его отключения линейным выключателем. Данный метод недостаточно надежен, так как при отказе линейного выключателя будет обесточена и вторая, исправная система шин. Более надежными являются устройства с применением силовой полупроводниковой техники в цепях коммутации силовых электрических цепей. Но и они имеют недостаток – данные устройства должны иметь свою импульсную схему управления, что приводит к удорожанию устройства.

В последнее время достигнуты большие результаты в разработке силовых вакуумных выключателей, что позволяет использовать их вместо тиристорных коммутаторов практически без ущерба быстродействию. Они просты в обслуживании, достаточно надежны в работе [1].

В настоящее время существуют различные способы управления силовой частью устройств автоматического включения резервного питания потребителей. В большой степени конфигурация схемы управления зависит от того, что является в силовой части устройства в качестве коммутационного аппарата.

Наиболее простыми схемами являются схемы управления устройствами автоматического ввода резерва (АВР), построенными на обычных масляных выключателях. Такие устройства обладают невысоким быстродействием и поэтому используются в схемах электроснабжения с потребителями, которые на период включения резервного питания допускают перерыв в питании несколько секунд. Обычно это схемы электроснабжения, не имеющие в своем составе мощные высоковольтные электродвигатели. Как правило, эти схемы управления реагируют на исчезновение напряжения на секции шин, при этом подается сигнал на отключение поврежденной секции шин от основного источника питания, а при отключении последнего – сигнал на включение секционного выключателя. В ряде случаев для ускорения срабатывания АВР сигнал на включение секционного выключателя подается одновременно с подачей сигнала на отключение

линейного выключателя. В этом случае имеет место кратковременное включение резервного источника на аварийную цепь, однако это не приводит в основном к нарушению резервного питания, хотя определенная вероятность такого случая есть. В других случаях параллельно основному секционному выключателю включается второй быстродействующий выключатель на время срабатывания основного выключателя, при этом включение этих выключателей осуществляется сигналом, поступающим при отключении линейного выключателя. В этом случае ускоряется срабатывание АВР без угрозы повреждения резервного источника питания, как это имеет место в предыдущем случае. Однако это приводит к удорожанию схемы.

Более совершенные схемы управления АВР с улучшенными информационными характеристиками на базе масляных и воздушных выключателей имеют в своем составе орган направления мощности, который определяет местоположение точки короткого замыкания. Если эта точка находится за пределами линейного выключателя, то будет дано разрешение на срабатывание АВР. В противном же случае будет дан запрет на срабатывание АВР, так как отключение линейного выключателя не приводит к отключению от поврежденного участка. Срабатывание АВР в таком случае приведет к отключению и резервного источника, что приведет еще к большему ущербу. В остальном работа схемы управления аналогична вышерассмотренной.

Более совершенными являются схемы АВР на базе масляных выключателей и параллельно включенным секционному выключателю тиристорным коммутатором. Например, в [2] рассматривается схема управления АВР для системы электроснабжения с высоковольтными синхронными двигателями, а в [3] – схема управления АВР для системы электроснабжения с высоковольтными асинхронными двигателями. В первом устройстве снимается сигнал частоты на контролируемой секции шин, так как в аварийном режиме синхронные двигатели за счет форсировки возбуждения некоторое время после исчезновения питания сети поддерживают напряжение на секции шин близким к номинальному. Данное устройство содержит орган направления мощности, который определяет направление тока в аварийном режиме. Если точка короткого замыкания находится выше линейного выключателя, то через трансформатор тока линейного ввода ток протекает от секции шин к точке короткого замыкания за счет подпитывающего эффекта синхронных электродвигателей. Данный орган в этом случае дает разрешение на срабатывание АВР. Если же точка короткого замыкания находится на контролируемой секции шин, то включение на нее резервного источника недопустимо, так как приведет к отключению и его. В этом случае ток через трансформатор тока линейного ввода протекает к секции шин, и орган направления мощности дает запрет на включение АВР.

Также устройство содержит орган контроля режима системы. Его наличие необходимо для анализа возможности самозапуска двигателей после кратковременного перерыва питания. Эта возможность определяется прогнозированием процесса самозапуска по производной сигнала в самом начале этого процесса. В случае прогнозирования успешности самозапуска орган контроля режима системы дает разрешение на включение АВР, в противном случае он дает запрет, так как неуспешность самозапуска двигателей приведет к отключению и резервного источника питания.

Аналогично работает и схема управления устройством, описанным в [3], только в этом устройстве контролируемым сигналом является не частота, а напряжение на контролируемой системе шин. Это связано с тем, что данное устройство предусмотрено для работы в системах электроснабжения с высоковольтными асинхронными электродвигателями, которые, в отличие от синхронных электродвигателей, являются самовозбуждающимися, а их подпитывающий эффект кратковременен по времени. Поэтому при коротком замыкании в таких схемах напряжение снижается значительно быстрее частоты.

Как показал анализ существующих решений, отсутствуют аналогичные схемные решения для систем электроснабжения, содержащих в своем составе как высоковольтные синхронные, так и асинхронные электродвигатели. Поэтому при разработке схе-

мы управления БАВР с улучшенными информационными характеристиками целесообразно использовать технические решения обоих вышерассмотренных устройств, комбинируя их в комплексный блок, реагирующий как на частоту, так и на напряжение на защищаемой системе шин. Вариант такого решения рассмотрен ниже.

Схема управления быстродействующими АВР (БАВР) с улучшенными информационными характеристиками представлена на рисунке 1 для одной системы шин. Мгновенное значение сигнала напряжения защищаемой секции шин снимается с помощью трансформатора напряжения ТН1. Кроме того, на один из входов схемы управления подается сигнал мгновенного значения тока на вводе данной секции шин, снимаемый с вводного трансформатора тока (на схеме не показан). Схема содержит орган контроля частоты 1, орган контроля напряжения 2, орган направления мощности 3, пороговый элемент частоты 4, пороговый элемент напряжения 5, орган контроля режима системы 6, схема ИЛИ 7, орган разности напряжений 8, первая схема И 9, вторая схема И 10, орган разности частот 11, орган выдержки времени 12.

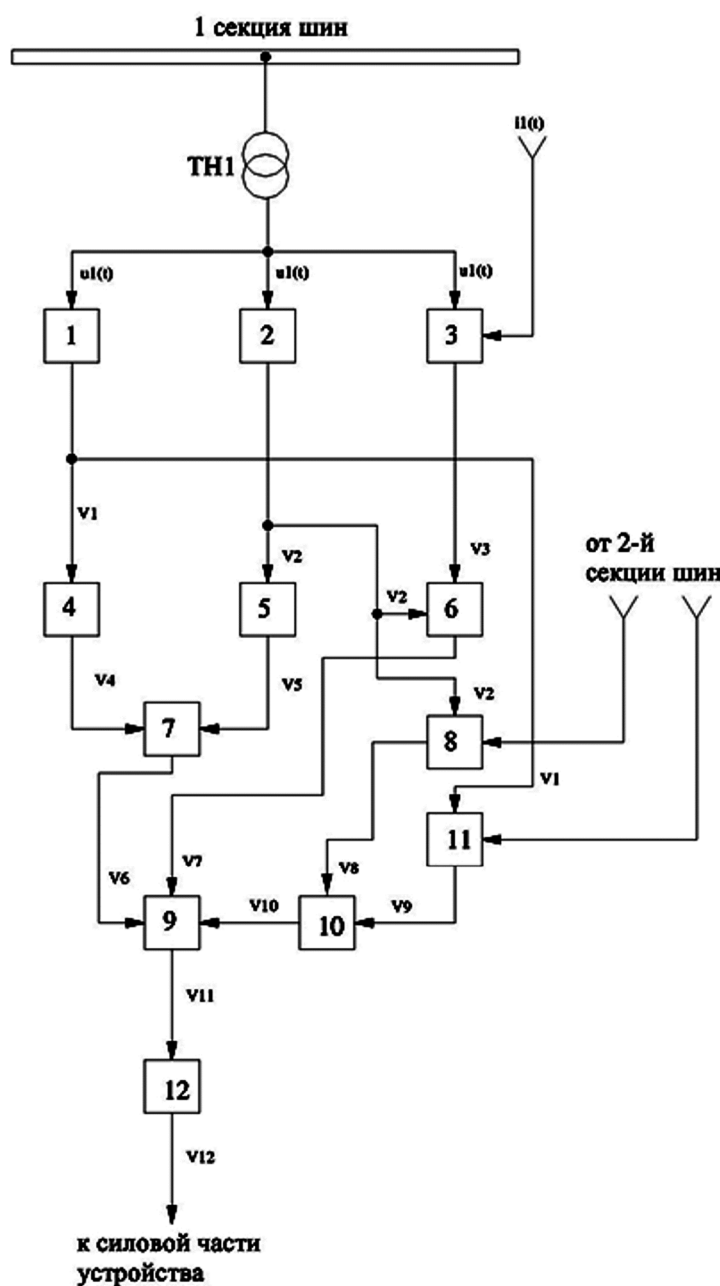


Рисунок 1 – Схема структурная управления БАВР

Конструктивное исполнение данных составных элементов и их элементная база полностью соответствуют одноименным элементам, описанным в [2] и [3].

Устройство работает следующим образом. Сигнал мгновенного значения напряжения  $u_1(t)$  подается на входы органа контроля частоты 1, органа контроля напряжения 2 и органа направления мощности 3. На выходе органа контроля частоты 1 формируется сигнал V1, величина которого пропорциональна величине частоты напряжения на секции шин. Этот сигнал поступает на вход порогового элемента частоты 4 и на первый вход органа разности частот 11. На выходе органа контроля напряжения 2 формируется сигнал V2, величина которого пропорциональна амплитуде напряжения на секции шин. Этот сигнал поступает на вход порогового элемента напряжения 5, а также первые входы органа контроля режима системы 6 и органа разности напряжений 8.

На выходе органа направления мощности 3 формируется сигнал V3, если сигнал  $u_1(t)$  и подаваемый на второй вход сигнал  $i_1(t)$  отличаются по фазе более, чем на  $90^\circ$ . Этот сигнал подается на второй вход органа контроля режима системы 6. На выходе порогового элемента частоты 4 формируется сигнал V4, если частота снижается ниже заданной, а на выходе порогового элемента напряжения 5 формируется сигнал V5, если аналогично напряжение снижается ниже заданного. Оба эти сигнала поступают на входы схемы ИЛИ 7, на выходе которой формируется сигнал V6, если хотя бы один из входных сигналов не равен нулю. На выходе органа контроля режима системы 6 сигнал V7 будет иметь место в том случае, если, с одной стороны, имеет место аварийный режим, и ток протекает от секции шин в энергосистему. С другой стороны, прогнозируемое изменение напряжения в послеаварийном режиме должно обеспечить самозапуск электродвигателей.

Также для успешности работы БАВР необходимо обеспечение определенного уровня напряжения для асинхронных двигателей и определенного уровня частоты для синхронных двигателей. Сравнение уровней напряжений основной и резервной секций шин осуществляется в органе разности напряжений 8, при обеспечении заданного уровня этой разности на выходе блока формируется сигнал V8. А сравнение уровней частот основной и резервной секций шин осуществляется в органе разности частот 11, при обеспечении заданного уровня их разности на выходе блока формируется сигнал V9. Срабатывание БАВР допустимо при обеспечении обоих этих уровней, поэтому сигналы V8 и V9 поступают на входы второй схемы И 10, на выходе которой формируется сигнал V10 при наличии на входах обоих сигналов.

Сигнал на срабатывание БАВР формируется на выходе первой схемы И 9 в аварийном режиме при условии снижения частоты или (и) напряжения ниже заданного значения, а также расположения точки короткого замыкания за пределами секции шин, обеспечении условий самозапуска электродвигателей, обеспечении требуемого уровня напряжения и частоты на резервной секции шин. В этом случае на входе первой схемы И 9 будут иметь место сигналы V6, V7 и V10, а на выходе сформируется сигнал V11. Чтобы отстроить срабатывание БАВР от кратковременных изменений режима данный сигнал подается на вход органа выдержки времени 12, на выходе которого через заданный промежуток времени появится сигнал V12, поступающий на силовую часть БАВР.

Вторая секция шин имеет аналогичный комплект блоков, за исключением блоков 8, 10 и 11, которые предусмотрены в одном комплекте на две секции шин. Реализация управлением силовой частью БАВР аналогично описанной в [2] и [3].

Разработанная схема управления вакуумными выключателями с улучшенными информационными характеристиками позволяет использовать ее в схемах электропитания с высоковольтной синхронно-асинхронной нагрузкой при использовании алгоритма срабатывания по нескольким информационным критериям, что повышает надежность работы БАВР.

### Литература

1. Попов Н.А. Вакуумные выключатели. – М. : Энергия, 1965. – 112 с.
2. А.С. 1688349 СССР Н 02 J 9/06. Устройство для автоматического включения резервного питания потребителей / Б.А. Коробейников [и др.]. – № 4651180/07. – Заявл. 06.01.89. – Оpubл. 30.10.91. – Бюл. № 40.
3. А.С. 1709462 СССР Н 02 J 9/06. Коробейников Б.А., Ищенко А.И., Беседин Е.А. Устройство быстродействующего автоматического включения резерва. – № 4727170/07. – Заявл. 07.08.89. – Оpubл. 30.01.92. – Бюл. № 4.

### References

1. Popov N.A. Vacuum circuit breakers. – M.: Energiya, 1965. – 112 p.
2. A.S. 1688349 USSR H 02 J 9/06. Device for automatic switching on of consumer backup power / B.A. Korobeinikov [et al.]. – № 4651180/07. – Appl. 01/06/89. – Published. 10/30/91. – Bull. № 40.
3. A.S. 1709462 USSR H 02 J 9/06. Korobeinikov B.A., Ishchenko A.I., Besedin E.A. High-speed automatic transfer device. – № 4727170/07. – Appl. 08/07/89. – Published. 01/30/92. – Bull. № 4.