



## Микропроцессорный быстродействующий АВР как средство повышения надежности электроснабжения ответственных потребителей

С.И. ГАМАЗИН, В.А. ЖУКОВ, С.А. ЦЫРУК,  
В.М. ПУПИН

Московский Энергетический институт  
(Технический Университет)

Россия

[dmitrii.vasilyev@bresler.ru](mailto:dmitrii.vasilyev@bresler.ru)

В.Н. КОЗЛОВ, А.О. ПАВЛОВ

ООО НПП «Бреслер»

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АВР, электроснабжение, микропроцессорный быстродействующий АВР (БАВР)

Применяемые в настоящее время схемы электроснабжения промышленных узлов нагрузки от двух независимых источников с использованием средств автоматики (АПВ, АВР) обладают достаточно высокой степенью надежности. Однако применение АВР двустороннего действия в традиционном исполнении на секционном выключателе 6,10,35 кВ ЗРУ, РП позволяет получить минимальное время работы средств автоматики  $0,4 \pm 0,5$  с [1-3], а перерыв в электроснабжении после его кратковременного нарушения для потребителей составляет более 1 с.

Существующие схемы и устройства АВР не обеспечивают бесперебойное электроснабжение синхронных и асинхронных двигателей ответственных механизмов подстанций при кратковременных нарушениях электроснабжения в энергосистеме [4], приводят к значительным экономическим ущербам при нарушении непрерывности технологических процессов, могут являться причинами возникновения гидравлических ударов, повреждения трубопроводов и оборудования насосных станций при переключении на резервный источник за время более 90-120 мс [5]. Главным препятствием существующих устройств АВР является относительно большое время срабатывания и время включения существующих секционных выключателей, органов АВР, отсутствие алгоритмов работы АВР для подстанций с несколькими вводами и при наличии трех секций распределительных устройств.

### Микропроцессорный быстродействующий АВР (БАВР) предназначен для:

1. Повышения остаточных напряжений на шинах ТП 6(10)/0,4 кВ и уменьшения отключений магнитных пускателей, контакторов в цепи питания низковольтных электродвигателей при провалах напряжения.
2. Обеспечения непрерывности технологических процессов (надежности электроснабжения потребителей и устойчивости высоковольтной электродвигательной нагрузки) при кратковременных нарушениях электроснабжения, попадающих в зону действия АВР.

3. Улучшения условий самозапуска электродвигателей после восстановления электроснабжения потребителей.

Новизна разработанного устройства [6] проявляется в следующем:

1. БАВР основан на цифровых системах обработки значений входных параметров и в связи с этим дает дополнительные возможности при эксплуатации и функционировании устройства.

2. БАВР легко (на программном уровне) адаптируется к конкретным схемам распределительного устройства и видам нарушения электроснабжения.

3. Сокращается время переключения на резервный источник при трехфазном КЗ в цепи питания секции распределительного устройства до 44 мс.

Для эффективной работы БАВР необходимо электроснабжение потребителей осуществлять от двух независимых источников  $I_1$  и  $I_2$ . Основной зоной защиты БАВР является участок электроснабжения от головного выключателя  $ГВ_1$  ( $ГВ_2$ ) до выключателя на вводе  $ВВ_1$  ( $ВВ_2$ ) (рис. 1). Если РУ является распределительным устройством ГПП, то головные выключатели (ГВ) располагаются на стороне напряжения 35-110-220 кВ, а вводные (ВВ) на стороне напряжения 6(10) кВ. Если РУ является распределительным устройством второй ступени, то и ГВ и ВВ располагаются на напряжение 6(10) кВ.

При трехфазном КЗ в цепи питания (точка  $K_1$  мощность  $P_1$  изменит направление, напряжение  $U_1 < U_{уст}$  ( $U_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}\dot{\sigma}} \approx 0,75U_i$ ) и пусковой орган выдает сигнал на отключение выключателя  $ВВ_1$ . Полный цикл срабатывания БАВР при этом составит  $t_{\dot{\sigma}} \leq 0,06$  с. При отключении головного выключателя  $ГВ_1$  мощность  $P_1$  изменит направление и при  $d_{12} > d_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}\dot{\sigma}}$  ( $d_{\dot{\sigma}\dot{\sigma}\dot{\sigma}} \approx 15^\circ$ ) пусковой орган выдаст сигнал на отключение выключателя  $ВВ_1$  ( $d_{12}$  - угол между напряжениями прямой последовательности на первой  $U_1$  и второй  $U_2$  секциях). Полный цикл срабатывания БАВР при этом составит  $t_{\dot{\sigma}} \leq 0,11$  с.

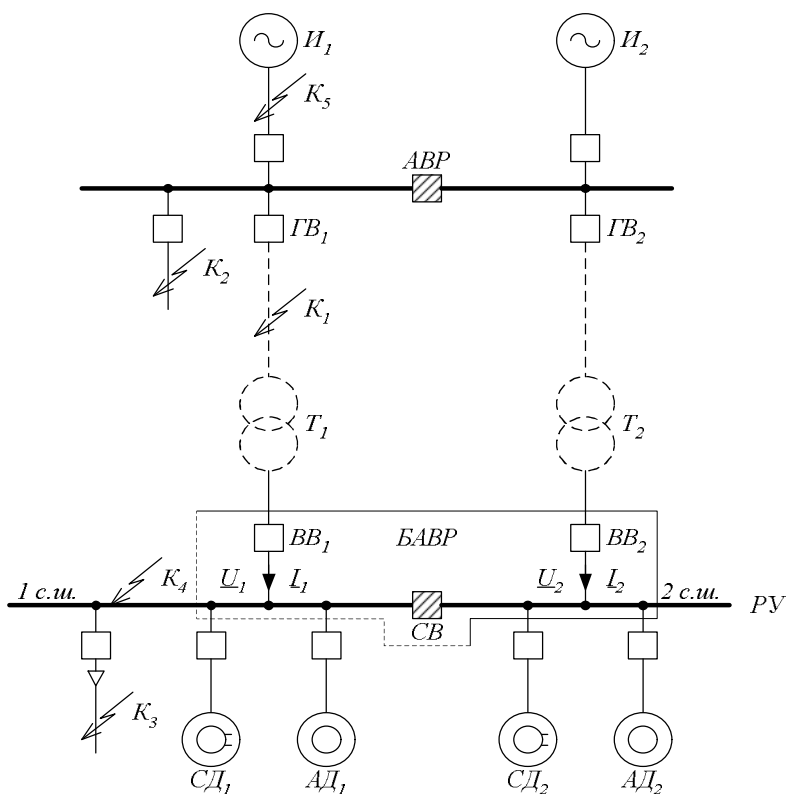


Рис. 1. Структурная схема зоны действия БАВР при КЗ

При любом виде внешнего КЗ в цепи напряжения 6(10) кВ (точки К<sub>3</sub>, К<sub>4</sub>) БАВР не работает, поскольку не изменяется направление мощности P<sub>1</sub>.

Для управления включением и отключением выключателей БАВР использования IGBT-транзисторы.

Дополнительной зоной защиты БАВР является кратковременные нарушения электроснабжения, вызванные близкими трехфазными КЗ в соседних присоединениях к источнику электроснабжения (точка К<sub>2</sub>), либо в цепи питания выше головного выключателя (точка К<sub>5</sub>). При таких КЗ изменяется направление мощности P<sub>1</sub> и время цикла БАВР составит  $t_{\phi} \leq 0,06$  с.

БАВР включает в себя а) быстродействующие вакуумные выключатели типа VM-1T, VD-4, Evolis, ВВЭМ, ВБЧЭ, ВБМ и др., б) микропроцессорное быстродействующее пусковое устройство АВР (МБПУ АВР), размещаемые в шкафах КРУ серий К-104м, К-113, КРУ2-10 и т.п., в шкафах КСО и других типах ячеек РУ 6(10) кВ.

БАВР может включать индукционно-динамические устройства ускорения коммутациями выключателей, если не обеспечивается требуемое время переключения на резервный источник.

МБПУ АВР представляет собой многоэлементное устройство релейной защиты и противоаварийной автоматики и обеспечивает двухстороннее действие на отключение выключателей двух вводов и на включение секционного выключателя резервного питания. Логика ПУ АВР обеспечивает адаптируемое АВР: в зависимости от вида аварии обеспечивается опережающее АВР (при потерях питания вызванных неоперативными отключениями питающих фидеров), одновременное АВР или АВР с контролем от блок-контактов отключаемого вводного выключателя (при потерях питания вызванных КЗ в питающей линии).

Микропроцессорное пусковое устройство БАВР измеряет в текущем режиме времени фазные напряжения на шинах двух вводов распределительного устройства (РУ) и фазные токи на вводах РУ и преобразует их в комплексные действующие значения напряжений  $\underline{U}_1(\underline{U}_2)$  и токов  $\underline{I}_1(\underline{I}_2)$  прямой последовательности. Дальнейшая работа пускового органа БАВР осуществляется за счет программной обработки результатов измерений.

Блокирующим сигналом для работы БАВР является направление (не величина) мощности прямой последовательности. Если мощности  $P_1 = U_1 I_1 \cos j_1$  (или  $P_2 = U_2 I_2 \cos j_2$ ) направлены от источника в нагрузку, то БАВР не работает, чтобы в системе электроснабжения не происходило.

Если мощность  $P_1$  (или  $P_2$ ) меняет направление (от нагрузки к источнику), а напряжение на вводе  $U_1 < U_{\phi\phi\phi}$  (или  $U_2 < U_{\phi\phi\phi}$ ), то пусковое устройство подает сигнал на отключение выключателя первого (второго) ввода и от блок-контактов последнего подает сигнал на включение секционного выключателя. Если мощность  $P_1$  (или  $P_2$ ) меняет направление (от нагрузки к источнику), а угол  $d_{12}(d_{21})$  между векторами напряжений прямой последовательности на первой  $\underline{U}_1$  (второй  $\underline{U}_2$ ) и второй  $\underline{U}_2$  (первой  $\underline{U}_1$ ) удовлетворяет условию  $d_{12} > d_{\phi\phi\phi}$  ( $d_{21} > d_{\phi\phi\phi}$ ), то пусковое устройство подает сигнал на отключение первого (второго) вводного выключателя и от блок-контактов последнего подается сигнал на включение секционного выключателя.

На рис. 2 представлена принципиальная схема предлагаемого устройства быстродействующего АВР. Устройство содержит основной 1 и резервный 2 источники питания, вводные выключатели рабочих вводов 3 и 4, секционный выключатель 5, шины подстанции 6 и 7, трехфазные трансформаторы тока 8, 9 и напряжения 10, 11, 12, 13;

микропроцессорное пусковое устройство АВР 14, блок контакты вводных 15, 16 и секционного выключателей 17, блокирующие сигналы релейной защиты (блоки 18, 19) на управляемые выключатели, управляемые ключи включения-отключения вводных и секционных выключателей 20, 21, 22, устройство индикации 23. Программно реализованный блок аналогово-цифровых преобразователей 24(25) соединен с блоком преобразований аналоговых сигналов 26(27) в дискретные действующие значения токов и напряжений. Дополнительно с блока дискретных сигналов и констант 28 поступают входные сигналы реле положения «включено» и «отключено» выключателей 3 и 4, автоматов цепей измерения напряжения на секциях 6 и 7, релейных защит на вводах и секционном выключателе и сигнал сброса в блок управления 41 устройства 14. Выходы блока 26(27) соединены с входами блока минимального тока 29(30), активной мощности прямой последовательности 31(32), блока минимального напряжения 33 (34) и угла сдвига фаз 35 (36) между источниками питания 1 и 2. Выходы блоков 29, 31, 33, 35 (30, 32, 34, 36) соединены через логические блоки «ИЛИ» (37 и 38) и «И» (39, 40) с устройством управления 41. В блок управления поступают дискретные сигналы и констант с блока 28, а результаты обработки сигналов и работы устройства отображаются с помощью блока индикации 23.

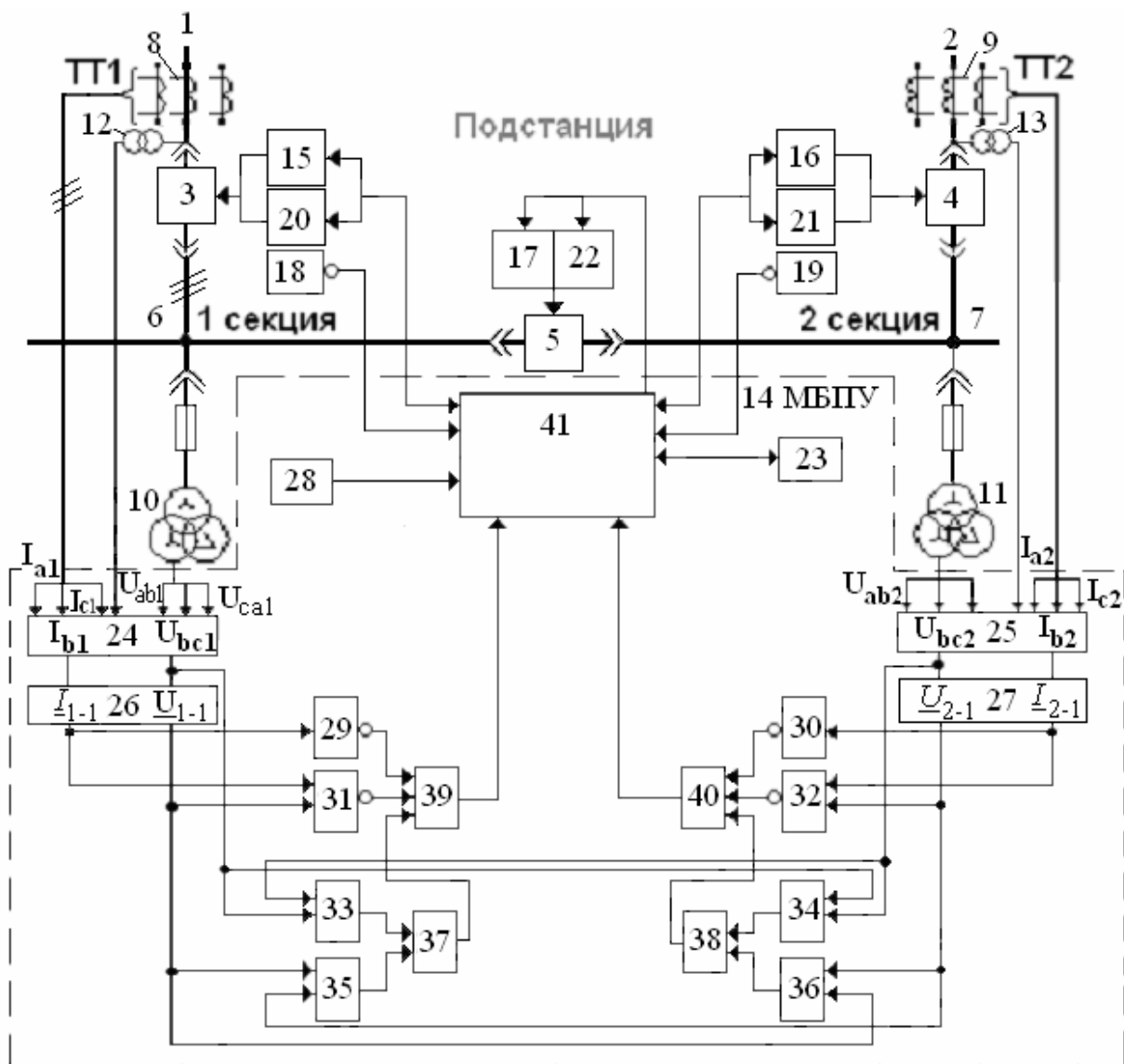


Рис. 2. Функциональная схема работы МБПУ АВР

Программно реализованный блок аналогово-цифровых преобразователей 24(25) соединен с блоком преобразований аналоговых сигналов 26(27) в дискретные действующие значения токов и напряжений. Дополнительно с блока дискретных сигналов и констант 28 поступают входные сигналы реле положения «включено» и «отключено» выключателей 3 и 4, автоматов цепей измерения напряжения на секциях 6 и 7, релейных защит на вводах и секционном выключателе и сигнал сброса в блок управления 41 устройства 14. Выходы блока 26(27) соединены с входами блока минимального тока 29(30), активной мощности прямой последовательности 31(32), блока минимального напряжения 33 (34) и угла сдвига фаз 35 (36) между источниками питания 1 и 2. Выходы блоков 29, 31, 33, 35 (30, 32, 34, 36) соединены через логические блоки «ИЛИ» (37 и 38) и «И» (39, 40) с устройством управления 41. В блок управления поступают дискретных сигналов и констант с блока 28, а результаты обработки сигналов и работы устройства отображаются с помощью блока индикации 23.

Программное обеспечение микропроцессорного пускового устройства позволяет управлять работой быстродействующего АВР в соответствии с заложенным алгоритмом.

Для режимов с малыми токами на вводе на уровне помех, когда работа блока направления активной мощности не предсказуема, предусмотрена уставка минимального тока. Если  $I_{1-1}(I_{2-1})$  меньше  $I_{уст}$ , то работа быстродействующего АВР разблокируется так же, как при изменении направления мощности прямой последовательности.

Вводные 3, 4 и секционный выключатели 5 распределительного устройства снабжены IGBT-транзистором включения-отключения 20,21,22 и могут быть дополнены индукционно динамическим устройством ускорения, позволяющим сократить собственное время включения и отключения выключателей более чем в два раза. Индукционно динамическое устройство ускорения на базе конденсаторной батареи, располагающейся в ячейках выключателей быстродействующего АВР, запасает энергию в нормальном режиме работы подстанции и с помощью устройства управления 41 по команде быстродействующего АВР переключается на катушку отключения (включения) выключателей, подавая повышенное напряжение на эти катушки. За счет индукционно динамического устройства ускорения собственное время включения и отключения выключателя сокращается в 2 раза.

При наличии сигнала о напряжении, снимаемом до выключателя ввода с помощью блоков 12 и 13 (рис. 2), устройство позволяет обеспечить автоматическое восстановление схемы нормального режима после возобновления электроснабжения от основного источника.

Быстродействующий АВР с микропроцессорным блоком пускового устройства отличается от обычного АВР тем, что сокращается время цикла АВР, все двигатели потерявшей питание секции остаются в работе, синхронные двигатели не теряют синхронизма, токи включения двигателей, питающихся от поврежденного ввода при срабатывании быстродействующего АВР не превышают  $2 \div 2,5 I_{ном}$  в отличие от АВР, когда они составляют  $5 \div 7 I_{ном}$ .

**Предлагаемое устройство** контролирует напряжение до вводных выключателей, программным способом обеспечивает ввод всех уставок и накладывает устройство, обеспечивает возможность синфазного включения при наличии синхронной двигательной нагрузки на секциях распределительного устройства. Логика работы устройства обеспечивает адаптацию быстродействующего АВР, когда при исчезновении питания разрешается опережающее АВР, а при возникновении короткого замыкания в питающей линии - одновременное АВР или быстродействующее АВР с контролем от блок-контактов отключившегося вводного выключателя. Логика работы устройства исклю-

чает возможность включения резервного источника на не отключенное КЗ и обеспечивает высокое быстродействие устройства при исчезновении питания.

БАВР отличается следующим.

1. Возможностью записи и отображения переходных процессов при любом срабатывании быстродействующего АВР, что позволяет выявить любые нарушения электроснабжения.

2. Отсутствуют изменения параметров уставок блоков реле пускового устройства и обеспечивается их сохранение в энергонезависимой памяти при снятии напряжения оперативного питания.

3. Обеспечивается автоматическое восстановление схемы нормального режима после появления напряжения на поврежденном вводе.

4. Контакты выходных реле устройства не замыкаются ложно при подаче и снятии напряжения оперативного постоянного тока с перерывом любой длительности.

### **Список литературы**

1. Гамазин С.И., Долмадин М.И., Пупин В.М., Хомутов А.П. Совершенствование надежности работы схем подстанций нефтепроводов при коротких замыканиях. - М.: ВНИИОЭНГ, 1987. - 42 с.

2. Гамазин С.И., Понаровкин Д.Б., Цырук С.А. Переходные процессы в электродвигательной нагрузке систем промышленного электроснабжения. – М.: Издательство МЭИ, 1991. – 352 с.

3. Слизкий Э.П., Шкута А.Ф., Бруев И.В. Самозапуск электро-приводных компрессорных станций магистральных газопроводов. - М.: Недра, 1991. – 187 с.

4. Целесообразные режимы работы вводов на различных уровнях системы электроснабжения/ С.И. Гамазин, М.О. Тиджиев, Е.И. Васильев // Промышленная энергетика. - №3. - 2004. С.17-24.

5. Свиридов Ю.П. Повышение надежности и экономичности работы электропотребителей водоснабжения и канализации путем совершенствования релейной защиты и автоматики. Дис. ... канд. техн. наук. – Ульяновск, 2001. 251 с.

6. Патент на полезную модель RU №63991 от 05.02.2007 г. Устройство автоматического включения резервного электропитания потребителей./ Цырук С.А., Гамазин С.И., Пупин В.М., Козлов В.Н., Павлов А.О. // ФСИСПТЗ, бюл. 16 10.06.2007.