

УДК 621.3.062.88

**АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВЫБОРЕ
УСТРОЙСТВ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО АВТОМАТИЧЕСКОГО ВВОДА
РЕЗЕРВА (БАВР) ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**

**PARAMETERS AND CHARACTERISTICS ANALYSES IN CHOOSING HIGH-
SPEED AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (HSATS) DEVICES FOR OIL
AND GAS PLANTS POWER SYSTEMS**

Баширов М.Г., Кузнецов А.С., Саблин С.А.

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
филиал, г. Салават, Российская Федерация

M.G. Bashirov, A.S. Kuznetsov, S.A. Sablin
FSBEI HPE “Ufa state petroleum technological university”
branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: eapp@yandex.ru

Аннотация. Устройство быстродействующего автоматического ввода резерва (БАВР) предназначено для повышения надежности электроснабжения ответственных потребителей и обеспечения динамической устойчивости комплексной электродвигательной нагрузки при кратковременных нарушениях электроснабжения. Его работа основана на непрерывном мониторинге величин фазных напряжений и токов на шинах двух вводов распределительного устройства, преобразовании их в комплексные действующие значения напряжений и токов прямой последовательности и программной обработке результатов измерений [6].

Это устройство является лишь одной составляющей системы БАВР, в которую помимо самого пускового устройства также входят трансформаторы тока, трансформаторы напряжения и силовые выключатели, число которых определяется схемой распределительного устройства. Из перечисленного оборудования на быстродействие переключения на резервный источник питания оказывают влияние только силовые выключатели. Это обуславливает необходимость применения современных сверхбыстродействующих выключателей, обеспечивающих, с учетом времени срабатывания пускового устройства, требуемое для устойчивого функционирования всей нагрузки полное время переключения на резервный источник питания.

В работе приведены результаты сравнительного анализа параметров и характеристик устройств БАВР, наиболее часто применяемых на предприятиях

нефтегазовой отрасли. Рассмотрены основные проблемы, возникающие в процессе эксплуатации этих устройств.

Abstract. High-speed automatic transfer switch (HSATS) has been designed to enhance security of Essential Service supply and to provide dynamic stability of complex electromotor load in cases of short-run disturbance of power supply input. Its performance is based on continuous monitoring of line-to-earth voltage and current values at busbars of two distributor gear incoming units, their transformation into complex effective voltage and positive-sequence current values as well as software processing of measurement values [6].

The device appears to be only one component of HSATS system which apart from the start-up system itself comprises also current and voltage transformers as well as power cutoff switches, their number depending on distributor gear circuit. While among these only power cutoff switches can influence transfer speed. This fact determines the necessity to use modern ballistic breakers that provide standby uninterrupted power supply system (UPS) total switching time taking into consideration starter action time thus providing full load performance independent of its composition.

The article covers the results of the differential analyses of parameters and characteristics of HSATS most frequently used at oil and gas plants. The main problems arising in the process of such devices operation are studied.

Ключевые слова: устройство быстродействующего автоматического ввода резерва, программное обеспечение, конфигурация, осциллограмма.

Keywords: high-speed automatic transfer switch, software, configuration, oscillogram.

Внедрение комплексов БАВР в системах электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли привело к уменьшению ущерба от перерывов электроснабжения, повышению промышленной и энергетической безопасности предприятий. Наряду с неоспоримыми достоинствами, существующие на сегодняшний день устройства БАВР имеют и ряд недостатков, которые выявляются в процессе эксплуатации и испытаний в производственных условиях. Проведем анализ основных параметров и характеристик, используемых при выборе устройств БАВР, на примере устройств, получивших наибольшее распространение в системах электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли:

- микропроцессорное пусковое устройство БАВР «Бреслер - МЭИ МБПУ 01.07-071»;

- БАВР типа SUE3000 компании АВВ.

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики данных устройств [1]. Для самостоятельного определения аварийного режима подстанции пусковое устройство быстродействующего АВР применяет следующие критерии:

- U_{\min} – контроль напряжения на сборной шине, В;
- δ_{12} – угол сдвига фаз между напряжениями сборной шины и резервного источника, град;
- $P+jQ$ – уставка активной мощности прямой последовательности. Если мощность меняет направление от нагрузки к источнику, то инициируется работа БАВР, В·А;
- I_{\min} – уставка минимального тока. В случае срабатывания по этому параметру, БАВР разблокируется, как и при изменении направления мощности прямой последовательности, А;
- I_{\max} – уставка максимального тока. При срабатывании по этому параметру происходит запрет работа БАВР, А.

Для устройства SUE3000 указаны лишь те критерии для определения аварийного режима работы, которые реализованы в самом блоке БАВР, без учета сигналов от блоков защит вводов.

Микропроцессорное пусковое устройство БАВР «Бреслер - МЭИ МБПУ 01.07-071» предназначено для быстродействующего включения резервного питания на подстанциях 6-10 кВ с высоковольтной двигательной нагрузкой (синхронные СД и асинхронные АД двигатели). Индукционно-динамическое устройство ускорения на базе конденсаторной батареи, расположенной в ячейке выключателей быстродействующего АВР, запасает энергию в нормальном режиме работы подстанции и с помощью устройства управления по команде быстродействующего АВР подает повышенное напряжение на катушки отключения (включения) выключателей [5].

Таблица 1. Сравнение устройств быстродействующих АВР

Тип БАВР	Критерии, используемые пусковым устройством самостоятельного определения аварийного					Определение момента синхронного переключения	Общее время работы БАВР, мс	Наличие нагрузки	Работа при несимметр. КЗ
	I_{\max}	U_{\min}	δ_{12}	$P+jQ$	I_{\min}				
Бреслер	-	+	+	+	+	+	40-80	-	+
SUE3000	-	+	-	-	-	+	50-300	+	-

За счет индукционно-динамического устройства ускорения собственное время включения и отключения выключателя сокращается в 2 раза. Но ускорение времени отключения (включения) выключателя путем подачи повышенного напряжения приводит к дополнительному износу и уменьшению ресурса выключателя. В технической документации отсутствует описание внутренней логики устройства, что не позволяет в полной мере оценить работу БАВР. Работа

с осциллограммами данного устройства возможна только с применением программного обеспечения Бреслер, так как формат сохранения осциллограмм не поддерживается другими распространенными программами для просмотра.

Высокоскоростное переключающее устройство SUE3000 решает задачу обеспечения непрерывной работы потребителей в случае нарушения электроснабжения путем максимально быстрого переключения к резервному вводу с учётом различных физических факторов. В результате срабатывания устройства обе секции электрической шины оказываются подключенными к одному фидеру. После восстановления работоспособности вышедшего из строя фидера, обратное переключение осуществляется в ручном режиме [7].

Устройство SUE3000 имеет четыре способа переключения:

- быстрое переключение;
- переключение при совпадении первой фазы;
- переключение по остаточному напряжению;
- переключение по времени.

Быстрое переключение является оптимальным режимом переключения для обеспечения, в случае возникновения неисправности, минимальной длительности нарушения электроснабжения. В тех случаях, когда статус сети не позволяет использование такого режима, выбираются менее быстрые режимы переключения. Жесткая логика, прописанная в блоке HSTD (HighSpeedTransferDevice), переключает секции с определенной выдержкой времени, отличающейся от времени работы БАВР и работы штатного АВР. Осциллограмма переключения секций устройством SUE3000 при совпадении первой фазы представлена на рисунке 1.

На осциллограмме видно, что время между отключением ввода №1 и включением секционного выключателя составило 425 мс, тогда как успешной работой БАВР считается время переключения до 100 мс. Такой режим работы отрицательно сказывается на устойчивости двигательной нагрузки.

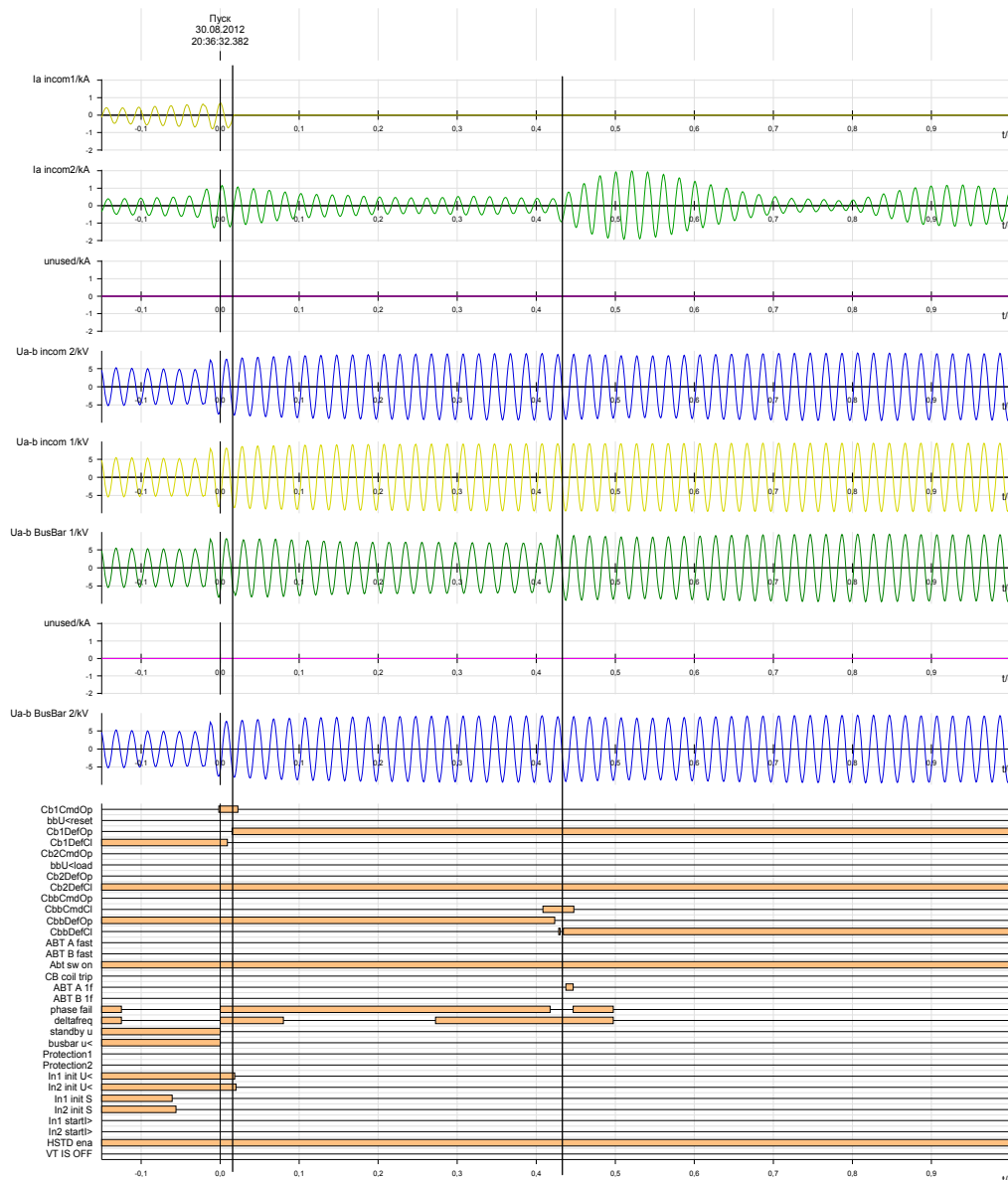


Рисунок 1. Переключение БАВР типа SUE3000 при совпадении первой фазы

Устройство SUE3000 контролирует лишь напряжение каждой секции, а оно, при близких коротких замыканиях, может значительно искажаться. При отсутствии на поврежденной секции двигательной нагрузки устройство не осуществляет переключение из-за отсутствия условий синхронизации [7].

Выпуск новых версий программного обеспечения блоков защиты SUE3000 и REF542plus происходит практически ежегодно, поэтому на предприятиях, осуществляющих модернизацию оборудования компании ABB, возникают проблемы. Подстанции, построенные с интервалом в один год и более, имеют разные версии программного обеспечения блоков защиты. С помощью более поздней версии обновления можно открыть конфигурации старых версий, но изменения логики или соединений с блоками защиты более раннего выпуска

приводит к ошибке программы. Таким образом, только по одному типу устройства защиты накапливается несколько версий сервисных программ, это приводит к переполнению носителей информации рабочих компьютеров и ошибкам обслуживающего персонала.

Современные устройства БАР построены на базе микропроцессорных реле, которые также имеют свои изъяны.

1. Влияние на работу микропроцессоров электромагнитных возмущений со стороны питающей сети:

- внезапная потеря оперативного питания во время работы реле, вызванная перегрузкой или коротким замыканием в сети, срабатыванием автоматических выключателей в цепи оперативного питания, попаданиями молнии в линии электропередачи, обрывами проводов и др. Такие повреждения могут привести к прерыванию текущей работы оперативной памяти, зависанию микропроцессора, а иногда и к полной потере данных в том случае, если не приняты специальные меры по организации бесперебойного питания реле;

- электромагнитные шумы или помехи в цепях питания и во входных цепях реле. Такие помехи могут быть вызваны различными факторами и явлениями, например, коммутационными или атмосферными перенапряжениями, излучениями передатчиков или мощного промышленного оборудования, не синусоидальностью напряжения. Из практики эксплуатации микропроцессорных реле известны случаи, когда источником такого излучения, нарушившего нормальную работу микропроцессорного реле, был обычный телефон сотовой связи[3];

- несимметричные режимы в сети и режимы, связанные с провалами напряжения и с длительным (в течение нескольких секунд и более) понижением уровня напряжения. Такие режимы возникают при включении мощной однофазной нагрузки, при пусках мощных электродвигателей компрессоров и др., а также при дефиците мощности в энергосистеме в часы пик. Сложные микропроцессорные реле обычно снабжаются сложными и дорогими источниками питания, способными обеспечить необходимый уровень напряжения на элементах схемы даже при глубоких провалах напряжения питания. Однако в более простых реле такие режимы приводят к нарушению их правильной работы. Причем, такие нарушения иногда приводят к очень тяжелым авариям в сети, так как работа микропроцессора при пониженном уровне напряжения питания становится совершенно непредсказуемой;

- перенапряжения в сетях, вызванные сбросом нагрузки, или импульсные коммутационные перенапряжения, которые могут проникнуть в реле через питающую сеть и привести к повреждениям внутренних элементов реле и его полному отказу. Конечно, существуют международные стандарты, в которых изложены требования по защите реле от всех этих воздействий, и разработчики реле принимают специальные меры. Однако практика показывает, что далеко не всегда это спасает от повреждений даже реле ведущих фирм мира.

2. Микропроцессорные системы релейной защиты, особенно сложные, не всегда адекватно ведут себя при сложных авариях и далеко не всегда могут правильно и своевременно отследить переходные процессы. На практике довольно часто наблюдаются случаи сбоев и неправильной работы сложных микропроцессорных защит в реальных условиях эксплуатации. Причем, если проверять такие реле на обычном лабораторном стенде, при стандартных сигналах на его входах, то они будут работать четко и надежно. Проблема заключается в том, что на лабораторном стенде невозможна имитация всех возможных комбинаций и искажений сигналов, которые могут произойти в реальной ситуации.

3. Микропроцессорное реле работает с входными величинами дискретно. Оно «захватывает» текущие значения входных величин, запоминает их в буфер, затем захватывает еще один комплект входных величин через определенный промежуток времени и сравнивает его с комплектом входных величин, помещенным в буфер. Если второй комплект окажется идентичным первому, входные величины отправляются в микропроцессор для обработки. В аварийных переходных режимах микропроцессору приходится обрабатывать большие массивы информации в режиме реального времени, сопровождающемся быстрыми и значительными изменениями входных сигналов, для этого ему необходимо определенное время (иногда сотни миллисекунд). Более того, если уже после запуска микропроцессора ситуация изменилась (например, замыкание на землю одной фазы перешло в двухфазное, а затем и в трехфазное), то запущенный процесс вычисления прерывается и все измерения начинаются сначала [4].

4. Имеются существенные отличия в поведении электромеханических и микропроцессорных реле, обусловленные их различной восприимчивостью к гармоническим составляющим измеряемых токов и напряжений, насыщению трансформаторов тока, искажению синусоидальности входных сигналов. Известно, что при больших кратностях токов короткого замыкания трансформаторы тока сильно искажают кривую выходного тока, поступающего на вход реле. Проблема снижения точности работы имеет значение для реле всех видов, включая электромеханические, но механический момент, развиваемый последними, пропорционален квадрату магнитного потока, созданного рабочим током. Такие реле реагируют на среднеквадратичное значение тока, которое включает также и гармоники, содержащиеся в токе. Большинство же микропроцессорных реле использует цифровые фильтры для быстрого разложения кривой входного тока в ряд Фурье и извлечения только основной гармоники, этот процесс основан на так называемом «быстром преобразовании Фурье». При таком принципе действия не учитываются высшие гармонические составляющие тока (напряжения), которые вносят существенный вклад в общий ток (напряжение) в переходных режимах, при авариях, при включении мощных трансформаторов и т. п. В результате микропроцессорные реле

дифференциальной защиты и дистанционные реле реагируют на входные сигналы иначе, чем электромеханические реле. А поскольку состав гармоник и их амплитуды являются случайными величинами, зависящими от места и вида короткого замыкания, режима работы сети и других факторов, то использование фильтров оказывается недостаточно эффективным [2].

Устройства БАР, кроме перечисленных недостатков всех микропроцессорных реле, имеют общие проблемы, с которыми приходится сталкиваться в процессе эксплуатации, независимо от фирмы-производителя. Одной из серьезных проблем при внедрении новых технологий в производство является наличие высококвалифицированных кадров. Для квалифицированного обслуживания устройств БАР необходимо создание специализированных учебных центров, так как ознакомиться на практике с работой этих устройств возможно только при пуско-наладочных работах, жестко ограниченных по времени. Следующей проблемой является вопрос эксплуатации устройств БАР, находящихся на гарантийном обслуживании. При выявлении отказа отдельных узлов или всего устройства, а также неправильном его функционировании требуется быстрое решение проблемы, что становится невозможным из-за отсутствия на данный момент на предприятии специалистов фирмы-производителя БАР. Эта проблема особенно существенна у потребителей БАР, находящихся в значительном удалении от сервисных центров, когда для устранения неполадок требуется не более часа, а приезд специалиста занимает несколько дней.

Еще одной проблемой устройств БАР можно назвать недостаточность информационного обеспечения. На предприятиях нефтегазовой отрасли применяются как современные устройства БАР типа SUE3000 или Бреслер, так и устаревшие устройства типа БПУ БЭ8302, произведенные в конце прошлого века. В технической документации устройств БАР более раннего выпуска приведено подробное описание не только принципа действия всего устройства, но и его отдельных блоков с математическими выкладками. В технической документации современных устройств БАР приводится лишь краткое описание логики работы устройства, а описание работы отдельных блоков отсутствует, что создает дополнительные проблемы в период послегарантийного обслуживания.

Выводы

Из всего изложенного можно сделать вывод, что внедрение устройств БАР в системах электроснабжения предприятий нефтегазовой отрасли возможно только после тщательной оценки существующей схемы электроснабжения, расчета параметров сети при аварийных режимах, расчета экономической эффективности от внедрения устройства и полном представлении всех трудностей, возникающих при эксплуатации данного оборудования.

Литература

1. Гамазин С.И. Устройства быстродействующего АВР и решение проблем непрерывности технологических процессов. // Электроинфо. 2008. №9. С. 54-63.
2. Гамазин С.И., Ставцев В.А., Цырук С.А. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой. М.: изд-во МЭИ, 1997. С. 231-232.
3. Гуревич В.В. Микропроцессорные реле защиты: новые перспективы или новые проблемы. // Электрооборудование, эксплуатация и ремонт, 2008. №12. С. 14-23.
4. Гуревич В.В. О проблеме несоответствия выходных реле микропроцессорных устройств релейной защиты западного производства реальным условиям эксплуатации. // Электротехника и электромеханика, 2006. №1. С. 12-15.
5. Микропроцессорный блок пускового устройства быстродействующего автоматического ввода резерва для двухсекционных подстанций 6-10 кВ «БРЕСЛЕР-МЭИ МБПУ 0107.071». Руководство по эксплуатации. Чебоксары, 2007. С.12-14.
6. Управляемое тиристорное АВР в сетях с мощными синхронными двигателями / Г.М. Рубашов [и др.]. // Промышленная энергетика. М., 1995. № 4. С. 15–18.
7. Устройство быстродействующего ввода резерва SUE3000. Технический паспорт. Германия, 2011. С. 5-7.

References

1. Gamazin S.I. Ustrojstva bystrodejstvujushhego AVR i reshenie problem nepreryvnosti tehnologicheskikh processov // Jelektroinfo, 2008. №9. S. 54-63. [in russian].
2. Gamazin S.I., Stavcev V.A., Cyruk S.A. Perekhodnye processy v sistemah promyshlennogo jelektrosnabzhenija, obuslovlennyej elektrodvigatel'noj nagruzkoy. M.: Izdatel'stvo MEI, 1997. S. 231-232. [in russian].
3. Gurevich V.V. Mikroprocessornye rele zashhity: novye perspektivy ili novye problemy // Jelektrooborudovanie, jekspluatacija i remont, 2008. №12. S. 14-23. [in russian].
4. Gurevich, V.V. O probleme nesootvetstvija vyhodnyh rele mikroprocessornyh ustrojstv relejnoj zashhity zapadnogo proizvodstva real'nyim uslovijam jekspluatcii // Jelektrotehnika i jelektromehanika, 2006. №1. S. 12-15. [in russian].
5. Mikroprocessornyj blok puskovogo ustrojstva bystrodejstvujushhego avtomaticheskogo vvoda rezerva dlja dvuhsekcionnyh podstancij 6-10 kV «BRESLER-

MEI MBPU 0107.071». Rukovodstvo po jekspluatacii. Cheboksary, 2007. S.12-14. [in russian].

6. Upravljaemoe tiristorное AVR v setjah s moshhnymi sinhronnymi dvigateljami / G.M. Rubashovi dr. // Promyshlennaja jenergetika. M., 1995.№ 4. S. 15-18. [in russian].

7. Ustrojstvo bystrodejstvujushhego vvoda rezerva SUE3000. Tehnicheskij pasport. Germanija, 2011. S. 5-7.

Сведения об авторах

Баширов М. Г., д-р техн. наук, проф., зав. кафедры «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий» ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

M.G. Bashirov, dr. tech. sci., prof., head of chair “Electrical equipment and automation of industrial enterprises” FSBEI HPE USPTU, branch, Salavat, Russian Federation

Кузнецов А.С., магистрант гр. МАЭ-11-21 ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

A.S. Kuznetsov, undergraduate gr. MAE- 11-21 FSBEI HPE USPTU, branch, Salavat, Russian Federation

Саблин С.А., студент гр. АПз-07-21 ФГБОУ ВПО УГНТУ, филиал, г. Салават, Российская Федерация

S.A. Sablin, student gr. EPp-07-21 FSBEI HPE USPTU, branch, Salavat, Russian Federation

e-mail: eapp@yandex.ru