

**А.А. ЧЕПЕЛЮК**, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков  
**В.Л. ЕМЕЛЬЯНОВ**, ст. преп., НТУ "ХПИ", Харьков

**АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА  
НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ**

Проведено аналіз конструктивних схем пристроїв автоматичного ввімкнення резерву напругою 0,4 кВ. Визначені перспективні шляхи удосконалення систем АВР з використанням вітчизняної елементної бази.

Проведен анализ конструктивных схем устройств автоматического включения резерва напряжением 0,4 кВ. Определены перспективные пути усовершенствования устройств АВР с использованием отечественной элементной базы.

**Введение.** Устройства автоматического включения резерва (АВР) широко используются в системах гарантированного электроснабжения на промышленных предприятиях, объектах связи и транспорта, медицинских учреждениях для обеспечения надежности электроснабжения потребителей 1-й и 2-й категории и выполняют функцию переключения потребителей между основным и резервным источниками питания, в случае появления неисправности или недопустимом отклонении параметров сети в одном из них [1]. В зависимости от категории предприятия при использовании систем резервного электропитания, имеются два либо три источника питания. В первом случае это два независимых силовых ввода от различных трансформаторных подстанций или от трансформаторной подстанции и автономного источника, например дизельной электростанции (генератора), а во втором к двум силовым вводам от различных трансформаторных подстанций добавляется автономный источник.

В последнее время в Украине наблюдается увеличивающийся спрос на АВР напряжением 0,4 кВ, что объясняется повышенными требованиями современных электроприемников к надежности своего электроснабжения. Стремясь удовлетворить спрос на указанные устройства, целый ряд отечественных производителей электрощитового оборудования освоил выпуск разнообразных устройств АВР электро-механического типа с номинальными токами от 10 до 6300 А [5-8 и др.] различного функционального назначения (устройства АВР на вво-

де, двойной АВР на вводе, секционный и сетевой АВР). Указанные устройства АВР могут быть классифицированы: по режиму приоритетов вводов АВР (устройства АВР с фиксированным, переменным и без приоритета одного из вводов); по количеству срабатываний АВР (устройства АВР однократного и многократного действия); по выдержке времени при срабатывании АВР (устройства АВР без выдержки, с фиксированной выдержкой времени или автоматически меняющейся в зависимости от вида повреждения выдержкой времени срабатывания) и др. [2-5 и др.].

**Цель работы** – технико-экономический анализ конструктивных схем устройств АВР сложившегося в Украине рынка таких устройств и выработка рекомендаций по усовершенствованию устройств АВР с использованием отечественной элементной базы.

Вне зависимости от функционального назначения, конструктивно электромеханическое устройство АВР может быть представлено в виде системы управления и силовых коммутационных аппаратов, обеспечивающих переключение источников питания. Для защиты отводящих линий от коротких замыканий и токовых перегрузок в системах АВР устанавливаются соответствующие аппараты защиты (автоматические выключатели или предохранители).

**Схемы и конструктивные реализации систем управления АВР.** Схемы управления современных АВР могут быть выполнены на релейной элементной базе или с использованием систем микропроцессорного управления.

Системы управления АВР, выполненные на релейной элементной базе [3-5], в зависимости от назначения АВР могут выполнять контроль питающих напряжений, обеспечивать (при необходимости) требуемые выдержки времени при переключении в случае отклонения питающего напряжения рабочего (в данный момент времени) ввода от нормы, выдавать, в случае аварийных ситуаций в питающих линиях, команды силовым коммутирующим аппаратам на переключение вводов, а также обнаруживать аварийные режимы в линиях электроприемников и выдавать команды на их отключение (без переключения на другой ввод). В состав таких систем, как правило, входят реле контроля трехфазного напряжения, реле времени, промежуточные реле.

Помимо указанных выше функций, микропроцессорные системы управления позволяют также контролировать частоту и фазу обоих источников и разрешать переключение только в том случае, если фазовый сдвиг не превышает допустимый. Кроме того, микропроцессорные системы управления АВР позволяют измерять в цифровом виде не только величину напряжения и тока в каждой фазе, но и другие необ-

ходимые параметры (реактивную составляющую тока, средние значения напряжения и тока,  $\cos \varphi$ , К-фактор, активную и реактивную мощности, количество потребленной электроэнергии в кВт·ч, перекос фаз в %), а также подсчитывать количество переключений и составлять протокол переключений в реальном масштабе времени. Такие системы управления содержат жидкокристаллические или светодиодные информационные панели, на которые при необходимости выводится указанная информация и, как правило, имеют возможность подключения к коммуникационному порту персонального компьютера непосредственно либо через телефонную линию. В совокупности со специальным программным обеспечением это позволяет дистанционно управлять и контролировать состояние устройства АВР. Несколько таких переключателей АВР, расположенных в разных местах, могут объединяться в сеть и управляться оператором с одного компьютера.

Такие системы управления управляют силовыми коммутационными аппаратами и выпускаются в виде отдельных блоков - контроллеров систем АВР в модульном или щитовом исполнениях (серии АТК, RGAM, RGK производства Lovato electric; серии MX150, MX250, ADin, AE Plus, B Plus 3ATS производства General Electric; серии ATS021, ATS022 производства ABB; серия БУАВР производства НПП "ВЭЛ" (Украина) и др.), а, также, встроенными в конструкции переключателей АВР (серии АТус М, АТус 3, АТус 6 производства Socomes; серии OMD200, OMD300, OMD800 производства ABB и др.), что обеспечивает меньшие габариты устройств АВР. Микропроцессорные системы управления АВР, выполненные в виде отдельных блоков – контроллеров систем АВР являются более универсальными, поскольку они не привязаны к конструкциям коммутационных аппаратов конкретных производителей.

Анализируя представленные на украинском рынке микропроцессорные системы управления устройствами АВР, следует отметить, что большинство из них – зарубежного производства. Вместе с тем, некоторые отечественные производители предлагают контроллеры систем АВР собственной разработки и производства, выполненные на импортной элементной базе, которые выгодно отличаются от импортных аналогов контроллеров систем АВР ценой.

**Силовые коммутационные аппараты АВР.** Производители устройств АВР, предлагают различные типы устройств АВР, где в качестве силовых коммутационных аппаратов используются контакторы, автоматические выключатели и выключатели нагрузки с электромагнитными или с мотор-приводами, выключатели нагрузки с мотор-приводом, а также специальные двухпозиционные переключатели для

АВР. Каждое из таких технических решений имеет свою область применения, ограниченную техническими характеристиками коммутационных аппаратов (минимальное время переключения, категория применения, диапазон номинальных токов и др.).

В устройствах АВР на базе автоматических выключателей для реализации дистанционного (автоматического) управления такими выключателями, они должны быть оснащены приводным включающим механизмом (электромагнитным или мотор-приводом), независимым расцепителем (для отключения), должны содержать вспомогательные контакты, с помощью которых может быть реализована электрическая блокировка выключателей, а также должны иметь механическую блокировку (рычажную или тросовую), исключающую возможность одновременного включения выключателей, что может привести к серьезным авариям в системах электроснабжения.

Следует отметить, что в системах АВР, где, в качестве коммутационных аппаратов, применяются автоматические выключатели со стационарным набором расцепителей, эти аппараты будут выполнять не совсем свойственную им в АВР функцию – защиту цепей от аварийных режимов (коротких замыканий и токовых перегрузок). Это чревато тем, что при срабатывании одного из таких выключателей по причине короткого замыкания или токовой перегрузки в отводящей линии на эту аварийную линию другим выключателем будет переключен резервный ввод. Поэтому применение таких выключателей является оправданным лишь при наличии в них вспомогательных контактов, сигнализирующих не только о состоянии выключателя (включен или выключен), но и об его аварийном срабатывании, что позволит системе управления заблокировать от включения другой выключатель.

Устранение указанного выше недостатка достигается за счет применения в системах АВР, в качестве коммутационных аппаратов, выключателей нагрузки, созданных на базе вышеупомянутых автоматических выключателей.

Анализ рынка АВР на базе автоматических выключателей в Украине свидетельствует о том, что широкого применения в системах электроснабжения с токами до 630 А такие АВР не находят. Это может объясняться их более высокой стоимостью в указанном диапазоне токов по сравнению с другими силовыми коммутационными аппаратами. АВР на базе автоматических выключателей более широко представлены в диапазоне больших токов (от 630 до 6300 А). Как правило, такие выключатели имеют микропроцессорное управление, что позволяет их легко настраивать на работу в системах АВР, и возможность реализации механической блокировки с одним или двумя аналогичными вы-

ключателями.

Некоторые производители предлагают устройства АВР на номинальные токи от десятков до 3150 А, в которых, в качестве коммутационных аппаратов, применяются переключатели нагрузки с мотор-приводом известных зарубежных производителей (Socomes, ABB, Gawe Electro SA и др.) с возможностью ручного переключения вводов. АВР с такими переключателями позволяют вести переключение под нагрузкой категории применения не выше АС22, АС23 и время их переключения достигает 2 с, что существенно ограничивает их применение.

Всемирно известная фирма ASCO (США), представленная на рынке Украины, выпускает широчайший ассортимент Automatic Transfer Switch (ATS) с микропроцессорным управлением на токи от 30 до 4000 А, являющиеся аналогом отечественных АВР, где, в качестве коммутационных аппаратов, использует специальные двухпозиционные переключатели перекидного типа с механическим удержанием и внутренней блокировкой, управляемые электромагнитом постоянного тока соленоидного типа, работающего в импульсном режиме (в моменты переключения вводов). Указанные переключатели выпускаются в двух-, трех- и четырех полюсном исполнении и в них предусмотрена возможность ручного переключения вводов. Минимальное время переключения между сетями в таких устройствах 0,2-0,3 с.

Практически все производители устройств АВР на рынке Украины предлагают устройства АВР на базе контакторов (магнитных пускателей), как с релейным, так и с микропроцессорным управлением, выполненные на отечественной и зарубежной элементной базе. Среди электромеханических систем АВР такие системы обладают наибольшим быстродействием (минимальное время переключения между сетями в таких устройствах 0,1-0,3 с). Номинальный ток контакторов зарубежного производства достигает 2050 А (прямоходные контакторы) и 4000 А (контакторы поворотного типа). Номинальный ток устройств АВР на отечественной элементной базе (контакторы серий КТ6, ПМЛ) ограничен 630 А, в виду отсутствия в Украине производства контакторов на большие токи. Категория применения контакторов - АС3.

Существенным недостатком устройств АВР на контакторной элементной базе является то, что катушки электромагнитов контакторов потребляют электроэнергию при включенном АВР, что приводит к дополнительным затратам при эксплуатации указанных устройств. Так, например, при работе в круглосуточном режиме устройства АВР на базе контакторов серии ПМЛ с номинальным током 160 А потребление электроэнергии контактором в год составит более 400 кВА·час (при номинальной мощности катушки электромагнита  $46 \pm 8$  ВА). Частично ука-

занный недостаток устраняется за счет применения контакторов с пониженным энергопотреблением, в которых используется форсированное управление электромагнитом (включение обмотки электромагнита переменного тока контактора через выпрямитель и подключение после притягивания якоря последовательно с обмоткой добавочного сопротивления, включение пусковой и удерживающей обмоток и др.).

Энергосберегающие системы АВР на базе контакторов, в которых отсутствует энергопотребление обмотками электромагнитов во включенном состоянии, могут быть реализованы за счет применения контакторов зарубежного производства с магнитной защелкой (серия АМ производства АВВ и др.). При включении такого электромагнита постоянный магнит намагничивается, после чего включающая обмотка обесточивается, а удержание якоря в притянutom состоянии осуществляется за счет магнитного поля постоянного магнита. Отключение такого электромагнита происходит при включении отключающей обмотки, создающей магнитный поток отключения, направленный встречно потоку постоянного магнита.

Поскольку, в настоящее время, в Украине отсутствует серийное производство контакторов с магнитной защелкой, отдельные производители устройств АВР, в частности ассоциация "Спецэнергоподряд" (Киев) [14], дорабатывают серийно выпускающиеся в Украине контакторы (магнитные пускатели) путем установки в магнитопровод приводного электромагнита контактора постоянных магнитов [15]. Такая доработка требует также наличия в электромагните двух обмоток (для включения и отключения электромагнита), что существенно повышает стоимость таких контакторов.

Устройствам АВР, реализованным на базе зарубежных электрических аппаратов, как правило, характерна более высокая стоимость, по сравнению с устройствами АВР на отечественной элементной базе.

**Выводы.** На основе проведенного технического анализа конструктивных схем устройств АВР напряжением 0,4 кВ и сложившегося в Украине рынка этих устройств можно сделать следующие выводы.

1. В связи с тем, что срок эксплуатации устройств АВР в зависимости от элементной базы, на которой они реализованы, составляет не более 15-30 лет, в Украине, на большинстве существующих объектов с АВР, в настоящее время и последующие годы будет актуальным вопрос модернизации действующих устройств АВР.

2. В виду отсутствия производства в Украине практически всего ряда силовых коммутационных аппаратов, применяемых в системах АВР (за исключением контакторов на номинальные токи до 630 А), практически весь сегмент рынка электромеханических устройств АВР

в Украине занят коммутационными аппаратами ведущих зарубежных производителей.

3. Учитывая возрастающий спрос на электромеханические устройства АВР на украинском рынке, в Украине целесообразной является разработка новых силовых коммутационных аппаратов и контроллеров для систем АВР, с учетом проанализированных в данной работе передовых достижений ведущих мировых производителей. В первую очередь такие разработки целесообразно проводить для диапазона токов до 630 А, поскольку в Украине в значительной части устройств АВР, требующих в настоящее или ближайшее время модернизации, номинальные токи не превышают указанного значения.

4. Повышение конкурентоспособности систем АВР на базе отечественных контакторов возможно при освоении в Украине серийного производства контакторов с магнитными защелками.

5. В Украине снижения энергопотребления устройств АВР на базе контакторов с управлением переменным током, срок эксплуатации которых еще не подходит к завершению, можно достичь путем доработки схем управления контакторами (включения обмотки электромагнита контактора через выпрямитель и добавочное сопротивление, подключаемое последовательно с обмоткой после включения электромагнита). Для определения целесообразности таких доработок требуется проведение дополнительных исследований.

**Список литературы:** 1. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) – Харків: Індустрія, 2007. – 416 с. 2. Беркович М.А., Комаров А.Н., Семенов В.А. Основы автоматизации энергосистем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 432 с. 3. Козлов В.Д. Устройства АВР // Электропанорама. – 2001. – №2. – С. 6. 4. Федоров С.Д., Облакевич С.В. Основные технические решения при проектировании систем гарантированного электроснабжения // Электропанорама. – 2001. – №2. 5. <http://elektrosvit.com.ua/wp-content/uploads/truc5.pdf>. 6. [http://sofit.com.ua/services/proizvodstvo\\_nizkovoltnyh\\_raspredelitelnyh\\_ustrojstv/ustrojstva\\_avarijnogo\\_vvoda\\_rezerva\\_avr/](http://sofit.com.ua/services/proizvodstvo_nizkovoltnyh_raspredelitelnyh_ustrojstv/ustrojstva_avarijnogo_vvoda_rezerva_avr/). 7. [http://www.robotix.com.ua/avr\\_v5\\_21.html](http://www.robotix.com.ua/avr_v5_21.html). 8. <http://darex.dp.ua/ru/low-voltage/ustroystva-avtomaticheskogo-pereklyucheniya-pitaniya-na-rezerv-avr.html>. 9. <http://esl.kiev.ua/Avtomaticheskie-pereklyuchately-ASCO.pdf>. 10. [http://www.gedigitalenergy.com/PowerQuality/ATS\\_Home.htm](http://www.gedigitalenergy.com/PowerQuality/ATS_Home.htm). 11. [http://www.socomec.com/presentation-atys-m-3\\_en.html](http://www.socomec.com/presentation-atys-m-3_en.html). 12. [http://www.ge-industry.ru/i\\_shop/system\\_panels/avr](http://www.ge-industry.ru/i_shop/system_panels/avr). 13. <http://www.abb.ua/search.aspx?q=omd300&abbcontext=products>. 14. Лысенко С.М. Энергосберегающий АВР на магнитных пускателях // Электропанорама. – 2001. – № 9, 15. Бабич Н.С. Патент №27664 от 15.09.00. Бюллетень №4, 2000.

*Поступила в редколлегию 29.06.10*