

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ВАКУУМНЫЕ СЕРИИ ВР. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ В НИЦ ВВА, г. МОСКВА

Мельник Я.В., гл. конструктор
ОАО "РЗВА"

Украина, Ровно, ул. Белая, 16, ОАО "РЗВА"
тел. (0362) 22-79-03, факс (0362) 26-79-09, E-mail: yamelnik@rzva.com.ua

Приведено результати порівняльного аналізу експлуатаційних характеристик і показників сучасних вакуумних вимикачів.

Приведены результаты сравнительного анализа эксплуатационных характеристик и показателей современных вакуумных выключателей.

Ровенский завод высоковольтной аппаратуры (РЗВА) является одним из крупнейших в СНГ предприятием по производству коммутационной и распределительной аппаратуры на напряжения от 0,4 до 110 кВ.

В прошлом году РЗВА отмечал 45-лет со дня образования. Все эти годы завод оставался лидером в своей отрасли. Через цеха предприятия прошла вся история отечественного аппаратостроения.

В 50-е годы выпускались первые высоковольтные масляные выключатели ВМГ-133 и выключатели нагрузки.

В 60-ые годы налаживается серийное производство второго поколения масляных выключателей ВМП-10К с электромагнитным приводом, ВМП-10П с пружинным приводом, ВММ-10 с двукратным АПВ, а также и масляных выключателей ВМП-35ТС и ВМП-35П для Асуанской ГЭС в Египте. Начиная с выключателя ВММ-10 вся продукция РЗВА выпускалась под Знаком Качества СССР.

В 70-ые годы начато производство электромагнитных выключателей типа ВЭ-10 по лицензии известной итальянской фирмы "SACE". После чего налаживается производство комплектных распределительных устройств (КРУ) серии КЭ-10 с этими выключателями.

В 80-ые годы впервые в СССР разработано КРУ в сейсмостойком исполнении серии КЭ-6С и начат серийный его выпуск с выключателями ВЭС-6. Одним из первых в стране предприятие начинает серийное производство вакуумных выключателей ВВ-10 и ВВЭ-10 с пружинными и электромагнитными приводами.

В 90-ые годы начало производства вакуумных выключателей ВБЗП-35, ВБЗЕ-35 и ВБЗО-27,5, комплектных блоков трансформаторных подстанций с преобразованием энергии от 110 до 10 (6) кВ и блоков тяговых подстанций для железных дорог.

С 1996 на производственных площадях РЗВА с участием международного концерна АБВ создается совместное предприятие "АБВ РЗВА". В 1998-99 годах проводится реконструкция и реструктуризация завода, вводится в эксплуатацию уникальное передовое оборудование, тем самым создаются предпосылки для производства аппаратуры на уровне мировых стандартов. В 1999 году Концерн АБВ продает свою часть акций СП "АБВ РЗВА" группе украинских инвесторов и выходит из состава предприятия.

В эти годы завод охватывает постоянно расширяющаяся компьютерная сеть. Проектирование изделий ведется в трехмерной программе Solid Works.

Именно в этот момент на предприятии принимается решение о разработке принципиально новой серии выключателей – ВР и освоении производства малогабаритных комплектно-распределительных устройств

КУ-10Ц с этими вакуумными выключателями на номинальные токи до 3150 А.

В основу проектирования новой серии выключателей ВР были заложены следующие принципы:

- простая кинематическая схема;
- крайне высокая надежность;
- высокие нормы качества;
- крайне высокий ресурс;
- отсутствие необходимости обслуживания;
- новая технология узловой сборки, где каждый узел (полюс, электромагнит, платы управления, рама, вал) перед сборкой выключателя проходит свою максимально компьютеризированную серию тестов. Всего каждый аппарат проходит приблизительно около 40 различных тестов во время его изготовления;

• целостность изделия (все рабочие элементы управления должны быть встроены в раму выключателя).

И такой аппарат был создан в 1998 году. Первым представителем выключателей семейства ВР стал выключатель ВР1.

Параллельно с освоением новой серии выключателей авторитетная международная компания Бюро Веритас завершает аудит системы управления качества на соответствие стандарту ISO 9001, в результате чего была сертифицирована деятельность по разработке, производству и сервисному обслуживанию оборудования для передачи и распределения электроэнергии 0,4-110 кВ.

К 2001 году это уже была целая серия выключателей, которые охватывают довольно широкую гамму типоразмеров выключателей на напряжение 6-10 кВ, что наглядно видно из приведенной диаграммы (рис.1).

Выключатели серий ВР0, ВР1 (рис.2) и ВР2 (рис.3) ВР3 предназначены для общепромышленного применения. В свою очередь выключатели серий ВР6, ВР6В и ВР6К предназначены для эксплуатации на тепловых и атомных станциях.

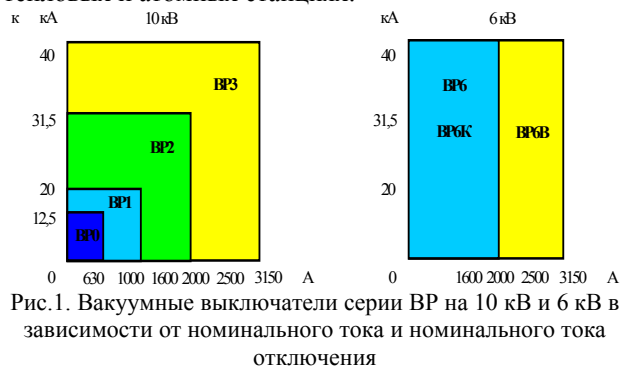


Рис.1. Вакуумные выключатели серии ВР на 10 кВ и 6 кВ в зависимости от номинального тока отключения



Рис.2. Вакуумный выключатель серии BP0, BP1



Рис.3 Вакуумный выключатель серии BP2

На протяжении текущих лет все типопредставители семейства выключателей ВР хорошо зарекомендовали себя в различных эксплуатационных условиях.

Эти аппараты полностью соответствуют главным требованиям эксплуатации – надежность и минимальные эксплуатационные затраты. Основные параметры выключателей:

- механический ресурс до 100 000 циклов ВО (масляных 2000-3000 циклов ВО, элегазовых - 5 000 – 10 000 циклов ВО);
- коммутационный ресурс – до 100 отключений тока короткого замыкания (масляных – 7 отключений, элегазовых - 15-25 отключений);
- гарантийный срок эксплуатации 4 года (масляных, элегазовых – 1 год);
- отсутствие необходимости в обслуживании (смазок, регулировок и т.д.).

Основные параметры приводов приведены в табл. 1.

Основные технические параметры приведены в табл. 2.

Таблица 1

Наименование параметра	Норма для выключателей серии				
	BP1, BP0	BP2	BP3	BP6 К	BP6 В
1. Номинальное напряжение цепи электромагнита (YAT, YAC), В - при постоянном токе; - при выпрямленном токе; - при переменном токе	220 220 220	110; 220 110; 220 127; 220	220 220 220	220 - -	220 - -
2. Номинальное напряжение цепей управления, В: - при постоянном токе; - при выпрямленном токе; - при переменном токе		110; 220 110; 220 127; 220		220 - -	220 - -
3. Максимальный ток потребления цепи электромагнита А, не более: - при включении (YAC) (на протяжении не более 40 мс): - при 220В - при постоянном 110 В, переменном 127 В - при отключении (YAT) (на протяжении не более 25 мс): - при 220 - при постоянном 110 В, переменном 127 В	16 - - 14* -	24 60 17 32	35 - 20 -	35 - 20 -	42 - 20 -
4. Ток срабатывания цепей отключения для схем с дешунтированием (КСА), А	3; 5				
5. Ток потребления цепей включения (КМ или КСС), отключения (КСТ), отключения от независимого питания (KCV), А, не более, при: - постоянном и выпрямленном напряжении 110 В; - переменном напряжении 127 В; - постоянном и переменном напряжениях 220 В	3** 3** 1,5**				
6. Диапазон рабочих напряжений цепи электромагнита (YAT, YAC), в процентах от номинального напряжения: - при включении (YAC); - при отключении (YAT): переменного или выпрямленного тока; постоянного тока	85-110 65-120 70-110				
7. Диапазон рабочих напряжений в цепях управления, в процентах от номинального напряжения: - цепи включения (контактора КМ или реле КСС); - цепи отключения (реле КСТ) и отключения от независимого источника питания (реле КCV): переменного или выпрямленного тока; постоянного тока	85-110 65-120 70-110				

* ток от предварительно заряженных конденсаторов привода

** ток потребления определяется величинами балластных сопротивлений R1, R2, R3 и может быть увеличен или уменьшен по согласованию с заказчиком.

Цепи управления выключателей работают в широком диапазоне напряжений и рассчитаны на постоянный, выпрямленный или переменный ток.

Ток потребления катушек электромагнита носит довольно кратковременный характер и приведен в табл. 1 в виде амплитудного значения. Величина тока

потребления соразмерна с пусковыми токами электродвигателей традиционных пружинных приводов выключателей, что делает возможным применение выключателей серии ВР в цепях управления, как с электромагнитными, так и с пружинными приводами.

Таблица 2

Наименование параметра	Норма для типоразмера																		
	ВР0-10-20/630 У2	ВР1-10-20/1000 У2	ВР2-10-20/1600 У2	ВР2-10-31,5/630 У2	ВР2-10-31,5/1000 У2	ВР2-10-31,5/1600 У2	ВР2-10-31,5/2000 У2	ВР3-10-40/2000 У2	ВР3-10-40/3150 У2	ВР6-6-40/1600 У2	ВР6-6-40/2000 У2	ВР6В-6-40/1600 У2	ВР6В-6-40/2000 У2	ВР6В-6-40/3150 У2	ВР6К-6-40/1600 У2	ВР6К-6-40/2000 У2			
1. Номинальное напряжение, кВ	10								6										
2. Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12								7,2										
3. Номинальный ток, А, при частоте 50Гц и 60Гц:	630	1000	1600	630	1000	1600	2000	2000	3150	1600	2000	1600	2000	3150	1600	2000			
4. Номинальный ток отключения, кА	12,5	20	31,5						40										
5. Нормированные параметры сквозного тока короткого замыкания, кА: а) наибольший пик (ток электродинамической стойкости) б) среднеквадратическое значение тока за время его протекания (ток термической стойкости для промежутка времени 3 с)	32	52	80						102										
	12,5	20	31,5						40										
6. Допустимое значение отключаемого емкостного тока, не более, А	630																		
7. Полное время отключения, не более, мс	57			65															
8. Собственное время включения, не более, мс	90								120										
9. Собственное время отключения, не более, мс	28-42			35-50															
10. Бестоковая пауза при АПВ, с, не менее	0,3																		
11. Механический ресурс, циклов ВО	100 000						30 000			15 000			30000						
12. Коммутационный ресурс, циклов ВО: - при номинальном токе - при номинальном токе отключения	50 000		30 000													15 000		30000	
	100	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50	40	50	40			
13. Масса выключателя, кг	68		112	90	112	290	162	287	326	350									

Характеризуя конструктивные особенности выключателей серии ВР следует подробнее остановиться на особенностях основных узлов – полюса, электромагнита и плат управления (рис.4).

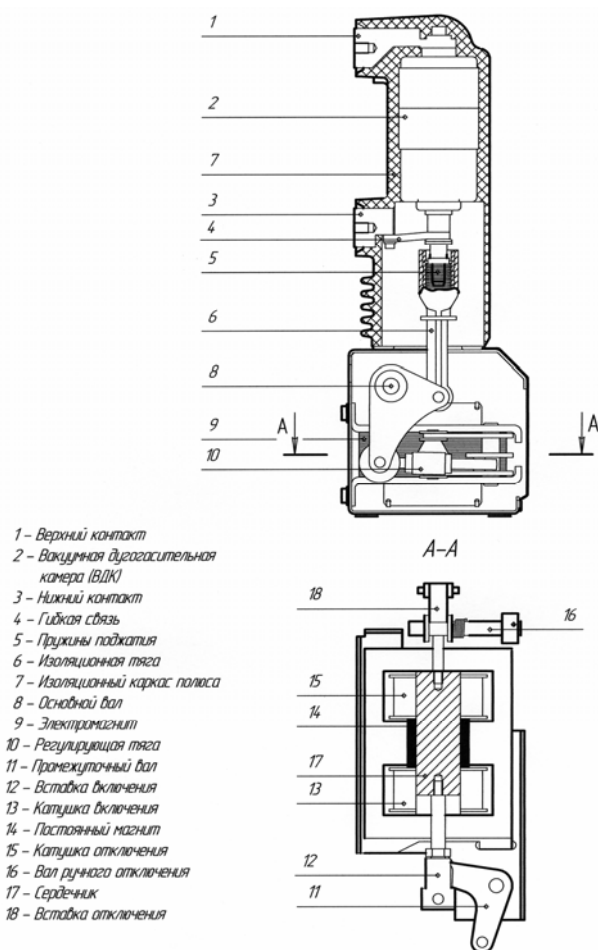


Рис.4. Вакуумный выключатель серии ВР0, ВР1, конструкция

Полюс. Новая серия литых полюсов вакуумных выключателей серии ВР наделяет выключатели еще одним рядом преимуществ. Необслуживаемые вакуумные дугогасительные камеры вложены в эпоксидный корпус по специально освоенной на ВАТ РЗВА технологии. Это позволило защитить коммутационный элемент от нежелательных внешних воздействий. Оригинальная конструкция изоляции полюсов обеспечивает оптимальное распределение электрического поля, при которой величина расстояния между полюсами, а также до заземленных частей конструкции выключателей и распределительных устройств может быть минимальной. Удачно выбранная геометрия эпоксидного корпуса полюсов препятствует накоплению пыли на его изоляционной поверхности. В полюсах установлены вакуумные дугогасительные камеры последнего поколения с максимальным коммутационным ресурсом и минимальным током среза около 3,5 А. Тарельчатые пружины поджатия встроены в изоляционную тягу.

Новый многофункциональный электромагнит. Следуя всем требуемым характеристикам вакуумных дугогасительных камер оптимальным решени-

ем в части привода был выбран двухпозиционный электромагнит, т.е. электромагнит с двумя так называемыми "магнитными защелками" в обоих крайних положениях выключателя.

Требования к технологии изготовления его оказались оптимально удобными и простыми. Современные магнитные технологии, а в электромагните применены постоянные магниты на основе редкоземельных металлов высокой удельной энергоемкости и коэрцитивной силы, позволили обеспечить необходимые временные и силовые характеристики для вакуумных коммутационных аппаратов.

Кроме того, в электромагните удалось обеспечить все необходимые операционные механические функции:

- обеспечить надежное и стабильное включение с нормированными параметрами;

- обеспечить надежное и стабильное отключение с нормированными параметрами, что позволило впервые упразднить традиционный элемент для всех выключателей - отключающую пружину и тем самым значительно снизить энергоемкость привода и повысить его надежность;

- надежно фиксировать выключатель с помощью "магнитной защелки" в обоих крайних положениях "Включено" и "Отключено";

- обеспечить ручное нормированное отключение. Многофункциональность электромагнитного привода и простота его конструкции позволила резко увеличить надежность и ресурс выключателей. Кроме того, это дало следующие преимущества:

- малое потребление электроэнергии при включении и отключении;

- возможность управления, как по цепям оперативного постоянного, так и оперативного переменного тока;

- минимальный вес и габариты;
- отсутствие буферов и регулировок;
- отсутствие необходимости проведения ремонтов в течение всего срока службы.

Электромагнитный привод имеет унифицированный ряд исполнений в зависимости от выполняемой работы, что позволяет выполнить каждому типоразмеру всего широкого семейства выключателей серии ВР ту расчетную минимально-необходимую работу, которую требуется выполнить каждому из них для обеспечения нормальной коммутации.

В двухпозиционном электромагните перемещающийся якорь удерживается магнитными цепями двух магнитов в крайних положениях. Перемещение якоря осуществляется двумя катушками и начинается, когда тяговое усилие возбуждаемой катушки превзойдет усилие магнитной защелки.

Характеристики электромагнита подобраны таким образом, что его якорь может воздействовать на подвижные контакты камер напрямую через силовой вал.

Платы управления. Все платы управления вакуумных выключателей серии ВР размещены в корпусе выключателя. При этом управление осуществляется, как переменным, выпрямленным, так и постоянным оперативным током. Выполненные в блоке

управления схемные решения позволяют без особых трудностей применять выключатели во всех известных типовых работах, как для схем с пружинными, так и для схем с электромагнитными приводами для всех ныне и ранее выпускаемых КРУ (К-IIIу, К-ХП, К-XXVI, К-37, КРУ2-10, К-59, К-104, КМ-1Ф, КУ-10Ц, К-Х, КГ-6, КЭ-6 КЭЭ-6 и др.) с различными источниками питания. Применение новых электронных элементов гарантирует высокую надежность работы схемы. Выключатели могут быть изготовлены по 8-ми принципиальным электрическим схемам в зависимости от применяемости выключателя.

Во Всероссийском Научно Исследовательском Центре Высоковольтной аппаратуры РАО ЕЭС России г. Москве были проведены коммутационные испытания всей серии выключателей ВР (т.е. выключателей на 20кА; 31,5кА; 40кА) по всем пунктам ГОСТ 687 "Выключатели высоковольтные трехполюсные" и получены положительные результаты, подтвержденные протоколами и сертификатами. Благодаря тщательному проектированию, сборке и предварительным испытаниям все выключатели серий ВР прошли испытания в НИЦ ВВА без замечаний и каких-либо отклонений от нормального режима работы.

Приведенных выше результатов было достаточно, чтобы производить выключатели и дать потребителям гарантии на наши выключатели 4 года с момента их изготовления.

В это же время РАО ЕЭС России обязало НИЦ ВВА проводить специальные испытания всех типов выключателей на возможность возникновения перенапряжения в наиболее неблагоприятном режиме при отключении заторможенного двигателя с пусковым током 100 ± 10 А в момент времени, непосредственно предшествующий переходу тока через ноль. В этом случае напряжение на контактах выключателя восстанавливается быстрее, чем расходятся контакты, и есть вероятность многократных пробоев промежутка между контактами, и как следствие возможность возникновения перенапряжения.

Нами была представлена для испытаний вся серия выключателей ВР (20кА; 31,5кА; 40кА), а также маломасляный выключатель ВКЭ-М-10-20/630 У2.

Все испытания были разбиты на три группы:

- испытания вакуумных выключателей без ОПН;
- испытания маломасляного выключателя без ОПН;
- испытания вакуумных выключателей с ОПН.

Экспериментальные данные современных вакуумных выключателей относятся в основном к электродвигателям небольшой мощности (100 – 200 кВт). Кратность перенапряжения здесь составляет 4...5. Как показывают теоретические расчеты зарубежных фирм – теоретическая вероятность возникновения такого режима составляет 0,1-0,2%. Аналогичные результаты были получены при испытаниях выключателей серии ВР.

Результаты испытаний маломасляных выключателей ВКЭ-М-10-20/630 У2 без ОПН показали практически ту же вероятность возникновения и тот же уровень перенапряжения.

Коэффициент перенапряжения при подключенном ОПН составил на всех выключателях серии ВР

$$K \approx \frac{U_{остаточ.} \sqrt{3}}{U_{действ.} \sqrt{2}} < 2,5 \dots 2,6,$$

что вполне безопасно для изоляции двигателей.

Это позволило принять следующее техническое решение при применении выключателей серии ВР при отключении любых видов нагрузок:

- только при отключении двигателей и сухих трансформаторов параллельно нагрузке (в шкафу КРУ) необходимо устанавливать ограничители перенапряжения;

- во всех остальных случаях – защитные мероприятия не требуются.

Подводя итог вышесказанному, можно с уверенностью сказать, что:

1) для коммутационных задач в сетях среднего напряжения 6-35 кВ самым оптимальным является вакуумный выключатель;

2) по показателям эксплуатационной надежности, коммутационным и механическим ресурсам, затрат на эксплуатацию, экологичности вакуумные выключатели на порядок превосходят как элегазовые, так и любые другие выключатели;

3) проблема коммутационных перенапряжений современных вакуумных выключателей является уже достаточно глубоко изученной и решенной;

4) уровень перенапряжения, который возникает при коммутации вакуумными выключателями серии ВР (даже при отсутствии ОПН) не выше уровня перенапряжения, создаваемых маломасляными и масляными выключателями;

5) при коммутации вакуумными выключателями с ОПН высоковольтных электродвигателей коэффициент перенапряжения не превышает 2,5, что полностью безопасно для их изоляции;

6) только при отключении двигателей и сухих трансформаторов параллельно нагрузке (в шкафу КРУ) необходимо устанавливать ограничители напряжений.

Поступила 20.06.03