

УДК 621.316.549  
Шифр специальности ВАК 2.4.2.

# ВАКУУМНЫЙ ВКЛЮЧАЮЩИЙ АППАРАТ

В статье перечислены основные проблемы включающих аппаратов лаборатории большой мощности. Рассматриваются характерные особенности включающих аппаратов. Предложено принципиально новое устройство для лаборатории большой мощности на основе вакуумной камеры. Перечислены характерные преимущества использования вакуумного включающего аппарата, позволяющие существенно улучшить качество испытаний высоковольтного оборудования в лаборатории большой мощности.

АВТОРЫ:  
М.С. Алферов,  
ORCID ID 0009-0002-7202-1647,  
0009-0005-5868-3152,  
ВЭИ – филиал РФЯЦ ВНИИТФ  
им. академ. Е.И. Забабахина  
М.М. Алферова,  
ORCID ID 0009-0002-7202-1647,  
ФГУП «НАМИ»

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:  
#включающий аппарат;  
#лаборатория большой мощности;  
#вакуумная дугогасительная  
камера; #электромагнитный  
привод



Большой высоковольтный зал ИЦ ВЭИ

↓ **ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Алферов М.С., Алферова М.М.  
Вакуумный включающий аппарат // Энергия единой сети. 2025. № 5–6. С. 26–29.



## ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью и неотъемлемой частью лаборатории больших мощностей (ЛБМ) является наличие двух последовательно включенных коммутационных аппаратов: защитного выключателя и включающего аппарата. Включающий аппарат отвечает за подачу тока в испытательную цепь с требуемой апериодической составляющей, позволяющей провести испытания высоковольтных выключателей, трансформаторов и иного высоковольтного оборудования в соответствии с требуемыми режимами программы испытаний. Главной особенностью включающих аппаратов является их режим работы: они предназначены только для включения под нагрузкой и для кратковременного пропускания токов короткого замыкания. Для этого включающие аппараты должны обладать высокой электродинамической устойчивостью во включенном положении. Время нахождения аппарата под нагрузкой не превышает 3 с (при испытаниях на сквозные токи короткого замыкания), пик тока короткого замыкания не превышает 330 кА и действующее значение не превышает 120 кА при нормальной работе в ЛБМ с ударным генератором ТИ–100–2 (рис. 1) [1].

Другой характерной особенностью включающих аппаратов является малый разброс собственного времени включения (не более 0,6 мс), необходимый для создания требуемого уровня апериодической составляющей тока короткого замыкания путем включения ударного генератора в требуемую для опыта фазу ЭДС.

Помимо высоких токов короткого замыкания и малого разброса собственного времени включения, отличительной чертой включающих аппаратов в составе ЛБМ являются их режимы работы. Так как за смену может быть более 20 операций включения, часть операций происходят как наладочные в холостом режиме или режиме неполного тока, но механическое воздействие на контакты и трансмиссию остается идентичным независимо от операции.

## ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВКЛЮЧАЮЩИХ АППАРАТОВ ВА-12

Актуальной проблемой включающих аппаратов испытательных ЛБМ в России являются их физический износ и устаревшая конструкция. Все без исключения ЛБМ в России оснащены воздушными включающими аппаратами типа ВА-12 (рис. 2), которые эксплуатируются с начала запуска лабораторий в работу в 1960–1970-х гг.

За годы эксплуатации этих аппаратов были выявлены следующие проблемы:

1. Явление предварительного пробоя межконтактного промежутка. Негативным эффектом этого процесса является трудность точного установления времени включения электрической цепи, так как ток начинает протекать несколько раньше, чем это было установлено при наладочных опытах без тока или с малыми значениями тока. Особенно сильно явление предварительного пробоя проявляется при работе с полным возбуждением ударного генератора и при опытах

с большой апериодической составляющей тока короткого замыкания.

2. Большая запасенная энергия приводных пружин (800 кгс). Необходимость накопления большой энергии обусловлена большой массой подвижного контакта, относительно большим межконтактным промежутком, а также необходимостью поддерживать стабильно низкий разброс собственного времени включения. Побочным недостатком использования пружин является склонность к облому концов пружин и закусыванию пружин между собой. Это связано с тем, что в конструкции ВА-12 использованы три коаксиально расположенные разнородные пружины для создания наиболее ровной тяговой характеристики.

3. Архаичность схемотехнических решений и применение высокого напряжения в шкафу управления, требующего наличия высококвалифицированного персонала для обслуживания аппарата. Это происходит из-за того, что в конструкции ВА-12 применена собственная система управления. От конструкций классических коммутационных аппаратов ее отличает то, что она:

- создает усилие, превышающее необходимое для сбития защелки более чем в 20 раз;
- использует для питания электромагнита запасенную в конденсаторе энергию высокого напряжения равную 7 кВ.

В качестве силового ключа для разряда емкости и пуска электромагнита включения используется

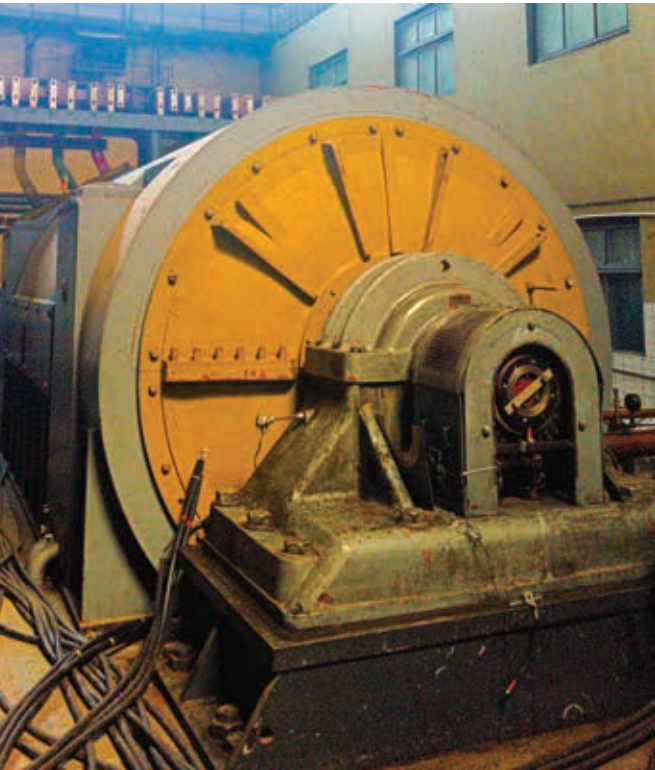


Рис. 1. Ударный генератор ТИ-100-2 в ИЦ ВЭИ





Рис. 2. Включающий аппарат ВА-12 в составе ЛБМ

**ВАКУУМНЫЙ ВКЛЮЧАЮЩИЙ АППАРАТ –  
СОВРЕМЕННАЯ ЗАМЕНА**

В качестве замены устаревшим ВА-12 предлагается вакуумный включающий аппарат с электромагнитным приводом [3]. Конструкция такого коммутационного аппарата схожа с конструкцией вакуумного выключателя, но также имеет ряд особенностей, позволяющих аппарату работать с токами короткого замыкания.

Известно, что классическая вакуумная дугогасительная камера выключателя имеет торцевые контакты из хром-медной (зачастую) композиции, позволяющие выключателю работать при малом проявлении эффекта диффузионной сварки контактов (рис. 3а). Такие торцевые контакты слабо приспособлены к устойчивому сохранению замкнутого состояния при токах короткого замыкания, превышающих 100 кА. В случае использования контактов в описанном режиме усилие привода, необходимое для устойчивого удержания аппарата в замкнутом состоянии, будет слишком большим, что приведет к увеличению размера привода и к усилению эффекта диффузионной сварки. В качестве решения проблемы устойчивости контактов к сквозным токам короткого замыкания при больших токах предлагается конструкция многоточечного контакта, позволяющая равномерно распределять полный ток КЗ между несколькими малыми контактами, заключенными в один вакуумный объем. Применение такой конструкции, как показано на рисунке 3б, заметно повышает устойчивость контакта при условии протекания ударного тока короткого замыкания. Но следует отметить, что такая вакуумная камера лишается способности отключать какие-либо токи, превышающие несколько сотен ампер, ввиду отсутствия в ней индуктора, создающего направленное магнитное поле. Поскольку включающий аппарат является устройством, которое устанавливается в испытательной схеме ударного генератора вместе с защитным выключателем, требований к отключению электрической цепи с какой-либо нагрузкой к нему не предъявляется [4]. Конструкция с десятью малыми контактами позволяет устойчиво удерживать контакты в замкнутом состоянии при ударных токах 330 кА усилием привода 9 кН, что почти в четыре раза упрощает задачу: при одном торцевом контакте требуется усилие равное 35 кН.

Использование вакуумной камеры на основе отработанной в сетевых выключателях конструкции позволит вакуумному включающему аппарату иметь механический ресурс, сопоставимый с вакуумными выключателями (более 50 000 циклов включения и отключения).

Привод вакуумного включающего аппарата предлагается использовать электромагнитный с магнитной защелкой. Такой тип привода получил широкое распространение в промышленном производстве вакуумных выключателей. Одни из самых распространенных выключателей с таким приводом серия ВВ/TEL производятся компанией «Таврида Электрик» (рис. 4). Их несомненными преимуществами (по сравнению с пружинными приводами) являются меньшее количество подвижных элементов, простота обслуживания и большой механический ресурс. Дополнительным преимуществом служит то, что такой тип привода больше подходит в качестве источника механической энергии к включающему аппарату с той точки зрения,

газорярядный прибор — тиратрон, который является крайне устаревшим устройством и в связи с этим имеет ряд аргументов в пользу замены его на более современное устройство. Тиратрон сильно уступает в энергоэффективности, дешевизне и простоте использования, например, тиристор.

4. Наличие пневматической системы управления отключением аппарата, необходимого для взвода пружины и постановки на защелку. Эта система требует регулярного обслуживания и наличия дополнительного компрессорного хозяйства.
5. Большая масса неподвижных и подвижных контактов и их износ из-за регулярных коммутаций. Это приводит к необходимости ежемесячного осмотра контактов [2], а в случае выявления дефектов — к замене контактов на новые, что в совокупности с отсутствием производства новых аппаратов и запчастей к ним приводит к простоям оборудования и проблемам с поиском запчастей или возможных изготовителей этих запчастей. Ввиду малого количества оставшихся в строю аппаратов (не более 20 единиц) это означает штучное производство запчастей и их высокую стоимость.
6. Высокие ударные нагрузки и длительный срок эксплуатации ВА-12. Такая особенность приводит к тому, что элементы трансмиссии приходят в негодность, а их ремонт становится зачастую невозможным, что снова приводит к проблемам с запасными частями.
7. Низкий механический ресурс, ограниченный 3000 циклами включения и отключения. После отработки аппаратом этого количества циклов требуется его капитальный ремонт.

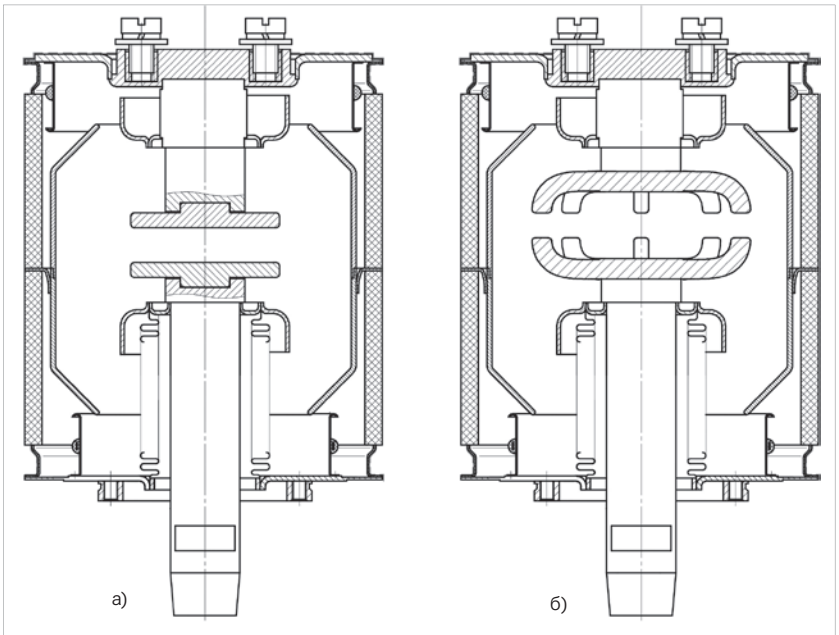


Рис. 3. Вакуумные камеры коммутационных аппаратов: а) вакуумная дугогасительная камера с торцевыми контактами, б) камера вакуумного включающего аппарата с многоточечными контактами



Рис. 4. Вакуумный выключатель ВВ/TEL Таврида Электрик, оснащенный электромагнитным приводом с магнитной защелкой

что имеет большую скорость и малое собственное время включения.

В процессе сравнения описанного в данной статье вакуумного включающего аппарата с находящимся в эксплуатации сейчас ВА-12 можно выделить ряд преимуществ первого:

- снижение влияния эффекта предварительного пробоя за счет использования более прочной диэлектрической среды;
- меньшую массу подвижных частей;
- отсутствие высокого напряжения в блоке управления;
- возможность использования в блоке управления современных полупроводниковых элементов и цифровизацию самого блока управления;
- отсутствие дополнительной пневматической системы и необходимости поддержания компрессорного хозяйства;
- дешевизну всего аппарата в совокупности;
- большой механический ресурс аппарата.

В качестве основного недостатка вакуумного включающего аппарата можно выделить неремонтопригодность его вакуумной камеры. В случае коммутационного износа она требует полной замены в отличие от ВА-12, где отдельные элементы можно заменить или даже провести профилактический ремонт.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Вакуумный включающий аппарат является перспективным устройством, способным заменить морально

и физически устаревшие аппараты ВА-12. Применение вакуумного включающего аппарата позволит более качественно проводить высоковольтные испытания благодаря получению более предсказуемых параметров аperiodической составляющей тока короткого замыкания, а также уменьшит издержки на обслуживание оборудования и простой испытательных центров, связанные с ремонтом коммутационных аппаратов.

Исследование нового типа многоточечных контактов в вакууме будет способствовать развитию вакуумной коммутационной аппаратуры на большие токи короткого замыкания, а также появлению возможностей разработки нового типа вакуумных генераторных выключателей.

Рисунки к статье предоставлены авторами.

**↓ ЛИТЕРАТУРА**

|                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Голубева В.П., Шешин Б.А. Включающий аппарат для лаборатории большой мощности // Вестник электропромышленности. 1959. № 5. С. 18–22. | мощности. // Радио-электроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов 31-й международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Москва. 2025. |
| 2. Инструкция по монтажу и эксплуатации включающего аппарата типа ВА-12.                                                                | 4. Федченко И.К. Техника высоких напряжений. Киев.: Вища школа, 1969. С. 63–68.                                                                                      |
| 3. Алферов М.С. Вакуумный включающий аппарат для лаборатории большой                                                                    |                                                                                                                                                                      |