

Создание выключателей переменного тока высокого напряжения

Ю.В. Черников

Изобретение в 90-х годах XIX столетия трансформаторов позволило повышать переменное напряжение для эффективной передачи мощности с последующим его понижением при распределении между потребителями. Первая трехфазная линия электропередачи между гидроэлектростанцией на водопаде реки Неккар (близ местечка Лауфен) и территорией Международной электротехнической выставки во Франкфурте-на-Майне протяженностью 170 км была испытана в августе 1891 г. Линейное напряжение при испытаниях составляло около 15 кВ. Результаты этих испытаний убедительно продемонстрировали возможности электрической передачи энергии и поставили точку в давнем споре. В борьбе «постоянный-переменный ток» на тот период времени победил переменный ток.

Однако не все было безоблачно в системе производства, распределения и потребления электрической энергии. Коммутирующее устройство на стороне высокого напряжения во Франкфурте-на-Майне состояло из стального бруса, подвешенного на веревках над тремя проводами линии передачи. Если по какой-либо причине требовалось прекратить передачу энергии, то стальной брус опускался на все три провода и создавал 3-фазное короткое замыка-

ние. Предохранители в Лауфене сгорали, и линия отключалась. Такого было первое коммутирующее устройство на линии передачи 3-фазного тока высокого напряжения. Такое решение вопроса позволяло эксплуатировать линию передачи только в том случае, если на трассе линии не было ответвлений для передачи энергии одновременно на несколько подстанций. Между тем расширение радиуса действия электростанций требовало сооружения разветвленных линий передачи, а следовательно, и независимого их отключения от общей высоковольтной сети.

Разнообразная простейшая коммутационная аппаратура применялась в электротехнических устройствах, начиная с 20-х годов XIX столетия. Непременным элементом выключателей являлась ртуть, в которую опускались подвижные контакты. Ртутные контакты сохранялись и в выключателях, получивших применение в технике сильных токов. В 1886 г. фирма «Ганц и К°» (г. Будапешт) построила в г. Риме крупнейшую в то время электростанцию переменного тока общей мощностью 1500 кВт при напряжении генераторов 2000 В. В качестве выключателей на этой электростанции инженер этой фирмы Отто Блати применил двухполюсные выключатели с

ртутными контактами, рассчитанные на рабочий ток 200 А при напряжении 2000 В с двумя разрывами на полюс. Устройство проработало 20 лет, а затем было заменено устройством с масляными выключателями. Фирма «Ганц и К°» изготавливала выключатели с ртутными контактами для напряжения до 10 кВ. Однако выключатели с ртутными контактами имели большую стоимость, содержали ядовитую ртуть, были тяжелы и нетранспортабельны. От таких выключателей отказались в начале девяностых годов XIX столетия.

Рычажные высоковольтные распределительные устройства с открытой дугой и одним разрывом на полюс не имели существенных отличий от низковольтных распределительных щитов. Выключатели обладали только большими размерами, что имело целью получить увеличенный путь отключения контактов.

Рычажные выключатели с открытой дугой в воздухе изготавливались всеми электротехническими фирмами и отличались друг от друга по числу мест разрыва цепи тока и по конструкции [1].

Фирма «Фойт и Гейффер» (Германия) в 1893 г. установила на электрической станции во Франкфурте-на-Майне рычажные выключатели своей конструкции с одним разрывом на полюс и с открытой дугой в воздухе. Общая мощность генераторов однофазного тока, установленных на этой станции, составляла 1565 кВт, а напряжение на шинах равнялось 3000 В. В распределительном устройстве электростанции рычажные выключатели были смонтированы на мраморных плитах. Каждый выключатель управлялся рукояткой, расположенной на передней стороне щита. От собирательных шин отводилось большое число отходящих линий, защита которых осуществлялась плавкими предохранителями. Эксплуатация распределительного устройства показала, что поставленные в цепи генераторов рычажные выключатели имеют суще-

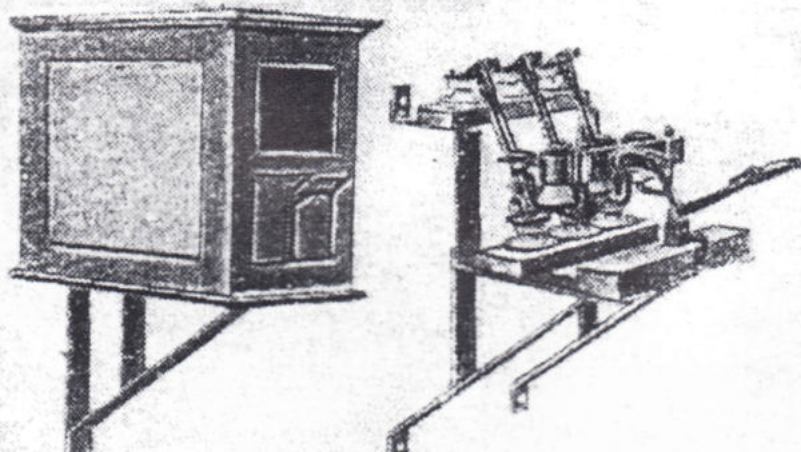


Рис. 1. Рычажный выключатель фирмы «Сименс-Гальске»



ственный недостаток. Расположение этих выключателей под собирательными шинами постоянно создавало угрозу замыкания шин ионизированными газами, образовавшимися при горении дуги между контактами выключателя в момент его выключения. Эти выключатели пришлось заменить другими рычажными выключателями.

Указанный выше недостаток рычажных выключателей был устранен в конструкции рычажного выключателя фирмы «Сименс-Гальске» (рис. 1). Ножи выключателя были расположены наклонно, что создавало условия для расхождения контактов выключателя почти горизонтально, так как подвижные контакты двигались по дуге окружности, которая почти укладывалась на горизонтальной линии. При образовании электрической дуги между расходящимися контактами выключателя ионизированные газы не омывали при своем движении вверх неподвижный контакт прерывателя, что создавало более благоприятные условия для гашения дуги, чем это имело место в выключателе фирмы «Фойт и Геффнер». Рычажные выключатели фирмы «Сименс-Гальске» были установлены этой фирмой в 1895 г. на электростанции Дрезденского вокзала для напряжения 3100 В, в 1896 г. на Охтенской электростанции в Петербурге и в 1897 г. на электростанции около Иоганнесбурга (ЮАР) для напряжения 10 кВ. Фирма «Сименс-Гальске» создавала рычажные выключатели с открытой дугой для напряжений до 15 кВ.

Следует отметить, что в 1893 г. на Чикагской всемирной выставке был показан максимальный автоматический выключатель М.О. Доливо-Добровольского, в котором впервые были применены пластинчатые пружинящие контакты, замыкаемые массивным ножом [2].

В 1898 г. Х.Ф. Першалль применил в Англии рычажные выключатели с открытой дугой и двойным разрывом цепи тока на полюс. Такой выключатель (рис. 2) был установлен на одной из электростанций в Лондоне. На плите 1, выполненной из изолирующего материала, расположены два неподвижных контакта 2 и 3. Подвижные рычажные контакты 4 и 5 помещены по обе стороны от плиты 1 и приводятся одновременно в действие при помощи рукоятки и зубчатых секторов 6. Контакты 4 и 5 поворачиваются в разные стороны, образуя два разрыва цепи тока на фазу.

Электротехническая фирма «Бергман и К°» (Германия) предложила в 1900 г. конструкцию рычажного выключателя с открытой дугой в воздухе и многократным разрывом цепи тока. Выключатель (рис. 3) представлял собой комбинацию нескольких рычажных выключателей с общим приводом одной рукояткой. Отдельные ножи 1 выключателя были установлены рядом на изолирующей плите и снабжены общей траверсой, выполненной из эбонита. Между верхними неподвижными контактами установлены три токопроводящие перемычки 2. Аналогично между основаниями ножевых контактов также были установлены три токопроводящие перемычки. Подвод тока выполнялся у оси левого ножа 1, а его отвод – у правого верхнего зажима 3. В выключателе был использован принцип многократного разрыва цепи тока, ранее примененный О. Блати в выключателе с ртутными контактами.

Фирма «Шуккерт и К°» (Германия) в 1900 г. изготавливала быстродействующие рычажные выключатели

(рис. 4) для напряжений до 3000 В в 1, 2 и 3-фазном исполнении для токов до 200 А. На вертикальной плите 1, выполненной из изолирующего материала, был установлен неподвижный контакт 4. При повороте рукоятки 5 вначале натягивалась пружина 2 и по достижении достаточного тягового усилия нож 3 вырывался из пружинящего неподвижного контакта 4. Применение натяжения пружины 2 увеличивало быстроту действия выключателя, что способствовало более эффективному гашению дуги, так как быстрое расхождение контактов снижало величину выделяемой дугой энергии в процессе ее образования.

На установке по передаче энергии из Меканиквилля в Скенектади (США) в 1896 г. было применено переменное однофазное напряжение 12000 В. Всеобщая электрическая компания, образованная на базе компании Эдисона, установила там рычажные выключатели на стороне высокого напряжения. Ножи рубильников высокого напряжения не были снабжены ручкой, но на концах их имелись отверстия, которые позволяли захватывать ножи достаточно длинным и хорошо изолированным крючком. Таким образом, эти рычажные выключатели с открытой дугой в воздухе на 12000 В представляют собой то, что теперь называется разъединителем с включением и выключением от шалыштанги.

В 1900 г. в связи с ростом потребляемой мощности напряжение в линиях Ниагарской ГЭС было повышено до 22 кВ переменного тока. В качестве выключателя на 22 кВ фирма «Вестингауз» (США) применила

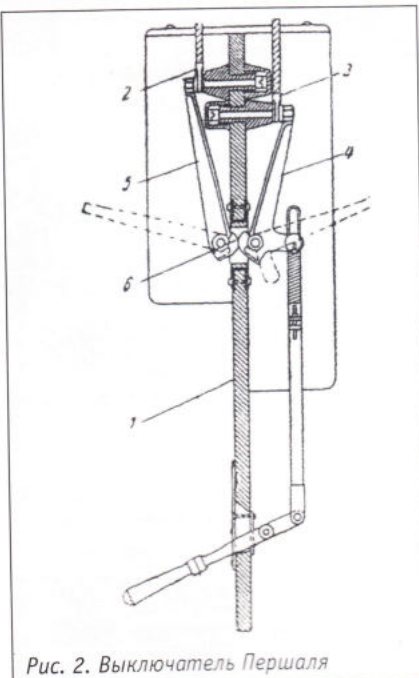


Рис. 2. Выключатель Першалля

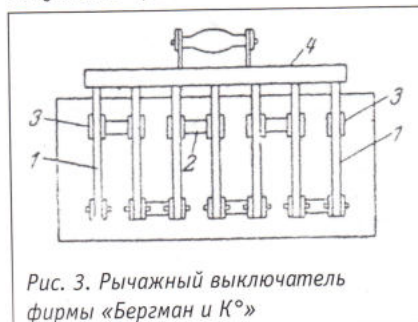


Рис. 3. Рычажный выключатель фирмы «Бергман и К°»

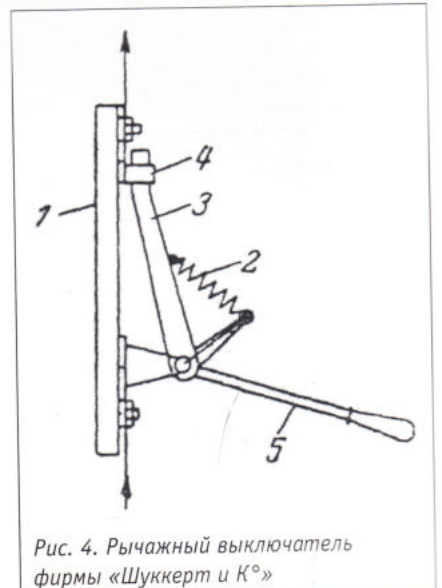


Рис. 4. Рычажный выключатель фирмы «Шуккерт и К°»



выключатель с токоведущим ножом и электромагнитным максимальным отключением. Нож этого выключателя первоначально имел открытие около 1,4 м. Однако при испытаниях оказалось, что такое открытие ножа недостаточно, так как при отключении иногда дуга не разрывалась, а продолжала устойчиво гореть. Размеры выключателя были увеличены и открытие ножа доведено до 1,8 м, но и увеличенный выключатель работал не всегда надежно. Для гашения дуги, возникавшей при отключении такого выключателя, приходилось уменьшать напряжение у генераторов, питающих эту секцию распределительного устройства, поскольку дугу не было. Следует отметить, что выключатели высокого напряжения с открытой дугой в воздухе имели время горения дуги от 2 до 25 с.

Распределительные устройства с рычажными выключателями в течение десятилетий могли поддерживать эксплуатацию электростанций. Объяснялось это тем, что установленная мощность станций при таких распределительных устройствах была относительно невелика.

С ростом установленной мощности на электрических станциях проблема отключения рабочих токов, и особенно токов короткого замыкания, при помощи ножевых рычажных выключателей с открытой дугой в воздухе становилась все более трудной и неразрешимой. Необходимо было найти какое-то новое решение проблемы коммутации в установках высокого напряжения. Поэтому многочисленные изобретательские усилия направляли свои исследования на создание других выключателей, а именно роговых.

В 1897 г. фирма «Браун-Бовери» (Швейцария) предложила конструкцию высоковольтного рогового выключателя (рис. 5), на которую в том же году получила германский патент. Выключатель представлял собой два рога, из которых 1 был неподвижный, а 2 – поворачивался около горизонтальной оси. Во включенном состоянии подвижный рог заходил за боковую поверхность рога неподвижного, и электрический контакт осуществлялся за счет пружинящего действия рогов. При отключении рогового выключателя образовывалась электрическая дуга, которая под действием нагретого воздуха и электродинамических сил выдувалась вверх и разрывалась на



Рис. 5. Роговой выключатель фирмы «Браун-Бовери»

конце рогов. Однако пружинящее действие рогов не всегда могло обеспечить надлежащий нажим между контактами при их взаимном соприкосновении.

С целью получения более надежного контакта при прохождении рабочих токов Бертран, конструктор немецкой фирмы «Фойт и Геффнер», предложил роговой выключатель, у которого рога не являлись токоведущими деталями при включенном положении выключателя. Были разработаны и изготовлены несколько вариантов такого устройства. Третья, наиболее совершенная модификация рогового выключателя этой фирмы относится к 1902 г. и предназначалась для сетей напряжением до 10 кВ (рис. 6). На раме 1 были установлены изоляторы 2 и 3, снабженные сверху неподвижными рогами 8. На головке изолятора 2 был помещен пружинящий неподвижный контакт 4, а на поворачивающемся изоляторе 5 укреплен нож 6, имеющий гибкую токоведущую связь 7 с металлическим колпаком изолятора 3. При отключении дуга перебрасывалась на неподвижные рога.

Однако и у этих высоковольтных роговых выключателей обнаружился существенный недостаток, а именно – электрическая дуга в этих устройствах свободно поднималась вверх и при высоком напряжении достигала чрезвычайно большой величины, что существенно усложняло эксплуатацию этих устройств с точки зрения безопасности.

Эту проблему решил Михаил Осипович Доливо-Добровольский, один из основоположников русской электротехники XIX века, который долгое время работал в немецкой фирме AEG. В 1910 г. эта фирма подала заявку и получила германский патент № 226517 на «Устройство для ограничения пространственного распространения электрической дуги в

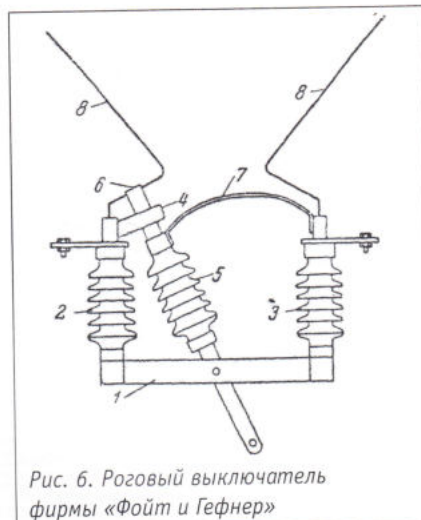


Рис. 6. Роговой выключатель фирмы «Фойт и Геффнер»

высоковольтном аппарате». Автором этого изобретения был М.О. Доливо-Добровольский. В этом выключателе электрическая дуга, которая образуется при размыкании контактов, с помощью катушки магнитного дутья выдувалась на рога выключателя. Над рогами были установлены перегородки из изолирующего огнеупорного материала. Электрическая дуга загонялась в щели между перегородками и удлинялась до тех пор, пока увеличение сопротивления дуги не приводило к такому уменьшению подводимой к дуговому пространству энергии, при котором дуга гасла при переходе тока через нулевое значение.

Роговые выключатели с гасительной гребенчатой камерой выпускались в Германии, Франции, Италии и США для напряжения до 17,5 кВ.

В России до 1917 г. роговые выключатели высокого напряжения изготавливались на заводах «Сименс-Шуккерт» (г. Санкт-Петербург), «AEG» (г. Рига) и «Динамо» (г. Москва). Все эти заводы изготавливали выключатели по чертежам немецких и английских фирм. Значительная часть аппаратуры, в том числе наиболее сложной, ввозилась из-за границы. Такое положение сохранялось примерно до 1920 г. [3].

Литература:

1. Гусев С.А. Очерки по истории развития выключателей переменного тока. – М.: ГЭИ, 1958. – С. 34 – 48.
2. История электротехники // Под редакцией И.А. Глебова. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. История энергетической техники в СССР, т.2 / Под ред. проф. П.Г. Грудинского. – М.: ГЭИ, 1957.

(Продолжение следует)