

ВЕНТИЛЬНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ КОММУТАЦИИ БОЛЬШИХ ИМПУЛЬСНЫХ МОЩНОСТЕЙ

В. В. ИВАШИН, А. И. БЛУДОВ, А. М. ЕЛЕНКИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрические машины
и общая электротехника)

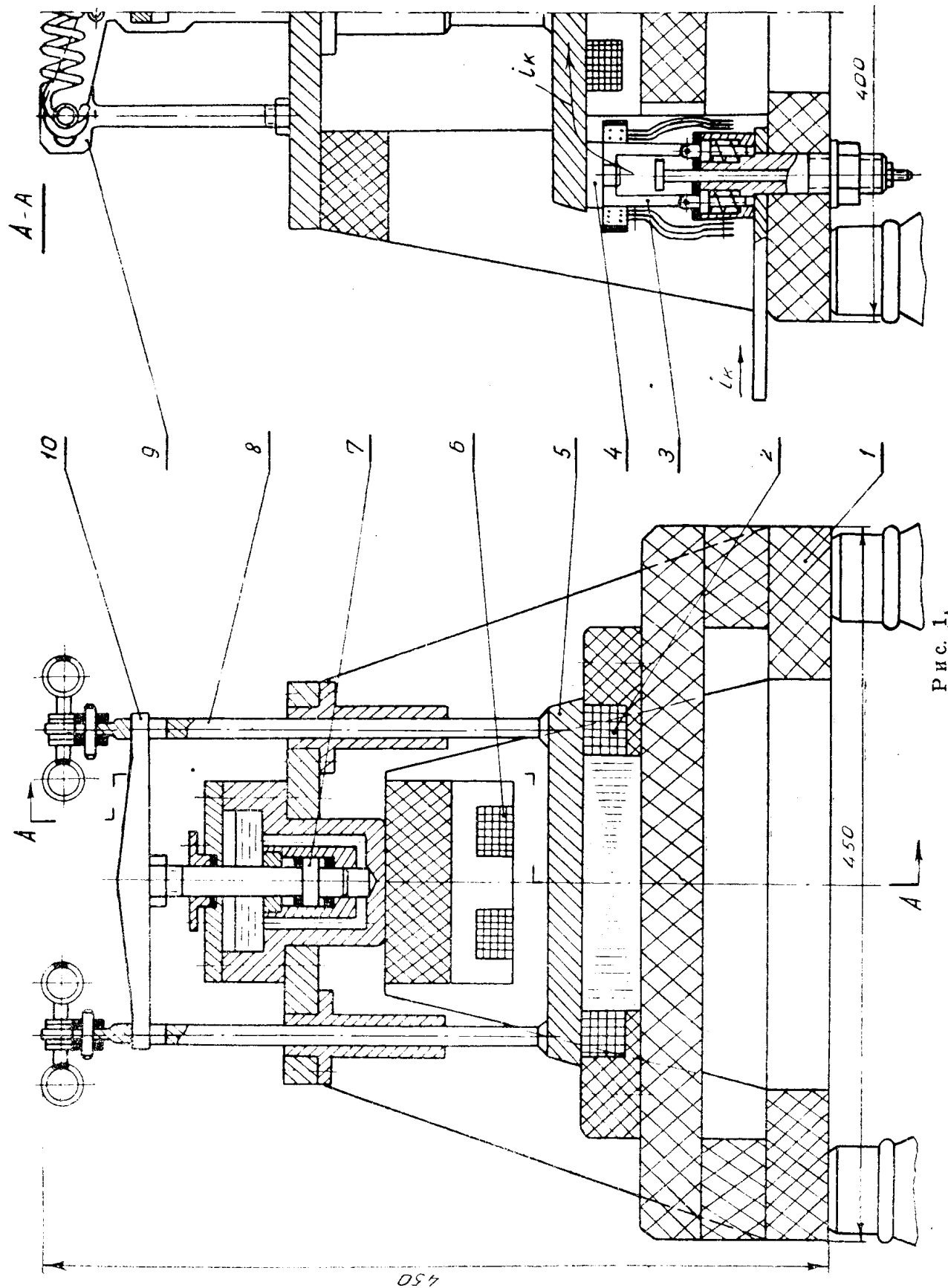
В современной науке и технике все более широкое применение находят установки, где необходима коммутация больших мощностей. Например, в ускорительной технике и термоядерных исследованиях необходимо получать мощные импульсные магнитные поля с энергией в десятки миллионов джоулей. Токи в обмотках, создающих эти поля, могут достигать десятка тысяч и более ампер. В лабораториях разрывных мощностей от ударных генераторов необходимо получать токи также в десятки и сотни тысяч ампер при напряжении на генераторе 10 кВ и более. Коммутировать такие токи с помощью ионных вентилей практически невозможно из-за недостаточной величины допустимого среднего и эффективного значения тока через каждый прибор и сравнительно низкой их импульсной перегружаемости [1].

Для коммутации больших токов в подобных случаях разрабатывались различные механические устройства, обладающие большой импульсной перегружаемостью и незначительными потерями энергии на переходном сопротивлении контактов, что определяло их небольшие габариты. Впервые механический контактный аппарат был разработан П. Л. Капицей для целей включения и выключения ударного генератора на индуктивную нагрузку [2]. Операция включения контактов в нуль э.д.с. генератора и отключения при первом проходе тока нагрузки через нулевое значение обеспечивалось с помощью специального кулачкового механизма, жестко связанного с валом генератора.

Двойной контактный зазор 1 мм выбирался за время $0,3 \cdot 10^{-3}$ сек. Небольшая дуга, возникающая на контактах из-за невозможности добиться точной механической синхронизации и мгновенного выключения контактов, гасилась с помощью дутья. Напряжение генератора было 2250 В, максимальная величина тока — 72000 А, длительность первого импульса тока — $18 \cdot 10^{-3}$ сек. Коммутирующий аппарат выдержал несколько тысяч операций без серьезных повреждений. Недостатками аппарата является наличие многих подвижных частей, трудность синхронизации при изменении режима работы, наличие дуги и невозможность работы при напряжениях $10 \div 15$ кВ.

В [3] описаны контактные аппараты, которые разрабатывались для коммутации тока 50 и 150 кА при напряжениях 500 В и 2000 В. Привод в этих аппаратах был применен электромагнитный.

В [4] описана конструкция аппарата для включения ударного генератора, работающего в лаборатории большой мощности для испытания высоковольтной аппаратуры. Контакты имеют пружинный привод, рассчитаны на токи до 120 кА и работают под давлением воздуха 6 атм.



Собственное время срабатывания $29 \cdot 10^{-3}$ сек, скорость контактов при включении — 4 м/сек, вес аппарата около 1,5 т.

В [5] описаны различные конструкции включающих аппаратов, выполненные зарубежными электротехническими фирмами для лабораторий разрывных мощностей.

В настоящее время механические коммутирующие аппараты находят все более широкое применение при коммутации больших токов в установках для термоядерных исследований. Например, в [6, 7] описаны конструкции аппаратов на 20 и 100 кА, предназначенные для закорачивания катушки индуктивностей при значении тока, близком к максимальному. Пневматический привод позволяет развивать при этом скорости до 50—60 м/сек и выполнять конструкции с временем замыкания порядка $1 \cdot 10^{-3}$ сек.

Следует заметить, что в этих устройствах большое быстродействие достигается за счет предварительного разгона подвижных частей и аппараты несут только функцию замыкания силовых цепей. Полное время срабатывания аппарата значительно превосходит $1 \cdot 10^{-3}$ сек.

Таким образом, коммутирующие аппараты, основанные на механическом замыкании цепей, применяются, как правило, только для замыкания цепей при нулевом или близком к нулевому напряжении. Синхронизированное с нулем тока размыкание контактов и отключение нагрузки от источника питания было осуществлено только при сравнительно низких напряжениях, причем и в этом случае реализовано было выключение только в работах П. Л. Капицы.

В НИИ ядерной физики при Томском политехническом институте разработаны принципиально новые устройства для коммутации силовых импульсных цепей при высоком напряжении [8, 9, 10]. Эти устройства основаны на сочетании механического быстродействующего аппарата и определенным образом включенных управляемых ионных вентилях, обеспечивающих операции бездугового замыкания и бездугового размыкания контактов.

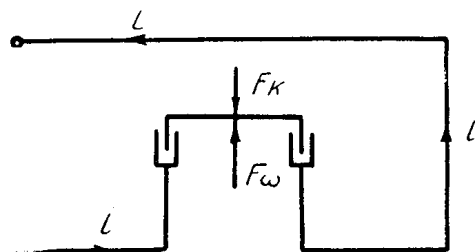


Рис. 2.

В данной работе описывается одна из разработанных конструкций сверхбыстродействующего контактного аппарата, способного пропускать импульсные токи в десятки тысяч ампер при напряжении 10000 в. Эффективный ток контактов — 1500 ампер. Привод аппарата для упрощения конструкции, повышения быстродействия и простоты управления выбран индукционно-динамический. При индукционно-динамическом приводе легко можно получить усилие в несколько тонн, что при массе контактов до $2 \div 2,5$ кг позволяет придавать им ускорения до нескольких тысяч g и обеспечивать полное время срабатывания не более $(3 \div 5) \cdot 10^{-3}$ сек. Конструктивно такой привод выполняется в виде многовитковой катушки и проводящего диска, расположенного в непосредственной близости от катушки таким образом, чтобы производная взаимоиндуктивности между диском и катушкой по координате необходимого перемещения диска была максимальной. Диск может передавать усилия на подвижные контакты аппарата. При пропускании че-

рез катушку импульсного тока от какого-либо источника диск отбрасывается от катушки с силой

$$f = i_1 i_2 \frac{\partial M}{\partial x},$$

где i_1, i_2 — токи в катушке и диске.

M — взаимоиндуктивность между диском и катушкой.

В контактном аппарате, разрез которого показан на рис. 1, имеется две катушки индуктивно-динамического привода — катушка 6 для замыкания контактов и катушка 2 для их размыкания. Между катушками помещен дуралюминиевый диск 5, который вместе с подвижными контактами 4 одновременно является контактным мостиком. При работе катушки замыкания 6 диск-мостик перемещается вниз и подвижные контакты 4 заходят в розеточные контакты 3. При работе катушки размыкания 2 диск отбрасывается электродинамическими силами вверх и контакты 3 и 4 размыкаются на двойной зазор 25 мм. Вертикальное перемещение диска обеспечивается с помощью двух направляющих 8, с которыми связана система ломающихся рычагов 9 и специально сконструированный двухсторонний масляный демпфер 7. Усилиям пружин ломающихся рычагов диск удерживается в верхнем или нижнем положении, то есть в положении «включено» и «выключено» с силой 20 кг. Система ломающихся рычагов надежно фиксирует положение диска-мостика при работе аппарата.

Направляющие 8 перемещаются вместе с диском при его движении вверх и вниз. При этом за 5 мм до конца такого перемещения с помощью коромысла, связанного с направляющими, включается масляный демпфер 7, который гасит до 90 проц. кинетической энергии движения подвижных частей и этим существенно уменьшает ударные механические нагрузки и шум при работе аппарата. Торможение демпфером занимает время $1 \cdot 10^{-3}$ сек. Катушки привода, демпфер, ломающиеся рычаги и связанный с ними диск крепятся на текстолитовой плите, размещаемой на 4-х опорных изоляторах. Двойной воздушный зазор 25 мм позволяет работать при напряжениях до 10 кВ. Аппарат может быть герметизирован и наполнен газом под давлением, что дополнительно увеличит электрическую прочность контактного промежутка. Полное время замыкания или размыкания контактов с момента подачи питания в катушку привода составляет не более $4,5 \cdot 10^{-3}$ сек. Источником энергии для питания катушек привода могут быть конденсаторы $50 \cdot 10^{-3}$ мкф, заряженные до напряжения 6 кВ, разряжающиеся на катушку привода через управляемый коммутирующий прибор, например, тиратрон или управляемый разрядник.

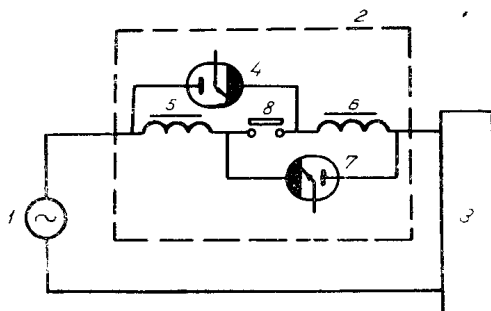


Рис. 3.

При протекании тока через розетку и диск-мостик на диск действует сила $F_{сб}$, стремящаяся переместить диск вверх. На рис. 2 показано схематическое изображение электрической цепи контактного

аппарата. Для компенсации этой силы над диском пропущена шина с током коммутируемой цепи. Электродинамическая сила F_k между током в диске и током в шине направлена встречно силе $F_{сб}$. Расстояние между верхней шиной и диском выбрано таким, чтобы было выполнено условие

$$F_k - F_{сб} = F_p > 0,$$

при котором диск при протекании тока прижимается вниз электродинамической силой F_p .

Длина ламелей у розеточных контактов и средний диаметр розеток выбраны из условия дополнительного сжатия розеток в момент протекания через них тока, что увеличивает электродинамическую устойчивость аппарата.

Схема управления аппаратом и вспомогательное оборудование смонтировано в отдельном шкафу управления. Габариты контактного аппарата $500 \times 700 \times 800$ мм, вес 50 кг.

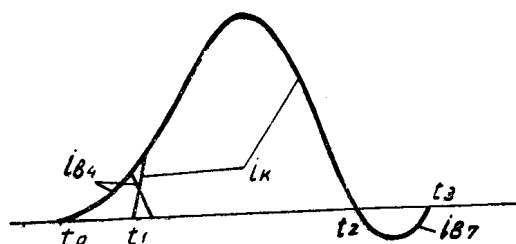


Рис. 4.

Аппарат может применяться для коммутации тока как от мощных конденсаторных батарей, так и от ударных генераторов. Например, на рис. 3 приведена одна из возможных схем включения аппарата для коммутации тока ударного генератора (11). Предположим, что от ударного генератора 1 в нагрузку 3 необходимо пропускать один первый импульс тока максимальной величины. Для этой цели при фазе э. д. с. генератора, близкой к нулевой, открывается вспомогательный вентиль 4 и начинают замыкаться контакты 8 аппарата. До момента их замыкания ток проходит от ударного генератора 1 в нагрузку 3 через вентиль 4. После замыкания контактов в момент t_1 дроссель насыщения 5 быстро перемagnetизуется, и ток переходит из вентиля 4 в контакты. После первого импульса в момент t_2 при проходе тока через нуль открывается вентиль 7, и ток второй, небольшой по амплитуде и обратной по знаку полуволны проходит через вентиль 7. Контакты за время отрицательной полуволны размыкаются, вентиль в момент t_3 при проходе тока через нуль запирает цепь, и на этом процесс коммутации завершается. На рис. 4 показана кривая тока от ударного генератора с апериодической составляющей тока, где i_{B4} и i_{B7} — токи вентиля 4 и 7, а i_K — ток, коммутируемый контактным аппаратом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smart D. L. Some switchin problems in thermonuclear „reseach, „Proc. Inst Electr. Engs” 1959, A-106, Suppe N 2.
2. Kapitz a P. L. Further Development of the Method of obtaing strong magnetic Fields. Proc Royeb Soc. 1927, vol. 115, p. 658.
3. И. В. Сафоновский, Л. П. Гнедин. Выключатель для включения и выключения мощной электрической цепи на время полуволны тока, Труды Ленинградского индустриального института, 1937, вып. 1, № 2.
4. В. П. Голубева, Б. А. Шешин. Включающий аппарат для лаборатории большой мощности, Вестник электропромышленности, 1959, № 5.
5. С. И. Яблонко. Современные лаборатории разрывных мощностей, ЦИНТИ, 1962.

6. Newgard P. M. A 20 000 — Ampere Mechanical Switch „Communication and Electronics, 1961, N 54.
7. Batzer T. N. Fast acting current switch, патент США N 3, 036, 172, 1962.
8. В. В. Ивашин. Авторское свидетельство № 155206.
9. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. Бездуговое отключение больших токов, Электротехника, 1964, № 9.
10. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. Авторское свидетельство № 156200.
11. В. В. Ивашин, Г. А. Сипайлов. Авторское свидетельство № 179362.