

# 1.4.3 Электрические аппараты

## Коммутационные аппараты



# Коммутационная аппаратура

Электромагнитный коммутационный аппарат состоит из четырех частей: электромагнитного привода; контактной системы; дугогасительного устройства; основания, на котором укреплены эти части.

# *Электромагнитные приводы*

Электромагнитные приводы электрических аппаратов делятся на привод постоянного тока, привод, реагирующий на направление тока, привод с выдержкой времени, привод переменного тока.

**Привод постоянного тока.** В электромагнитном приводе используется сила притяжения якоря к сердечнику электромагнита или сила втягивания якоря в катушку соленоида.



Широкое распространение в электрических аппаратах получил электромагнитный привод с магнитной системой клапанного типа (рис. 3.4). Он состоит из П-образного сердечника с катушкой 2 и поворотного якоря 3, который соединен с подвижным контактом 4 аппарата. Свойства электромагнитного привода характеризуются зависимостью его тягового усилия от положения якоря.

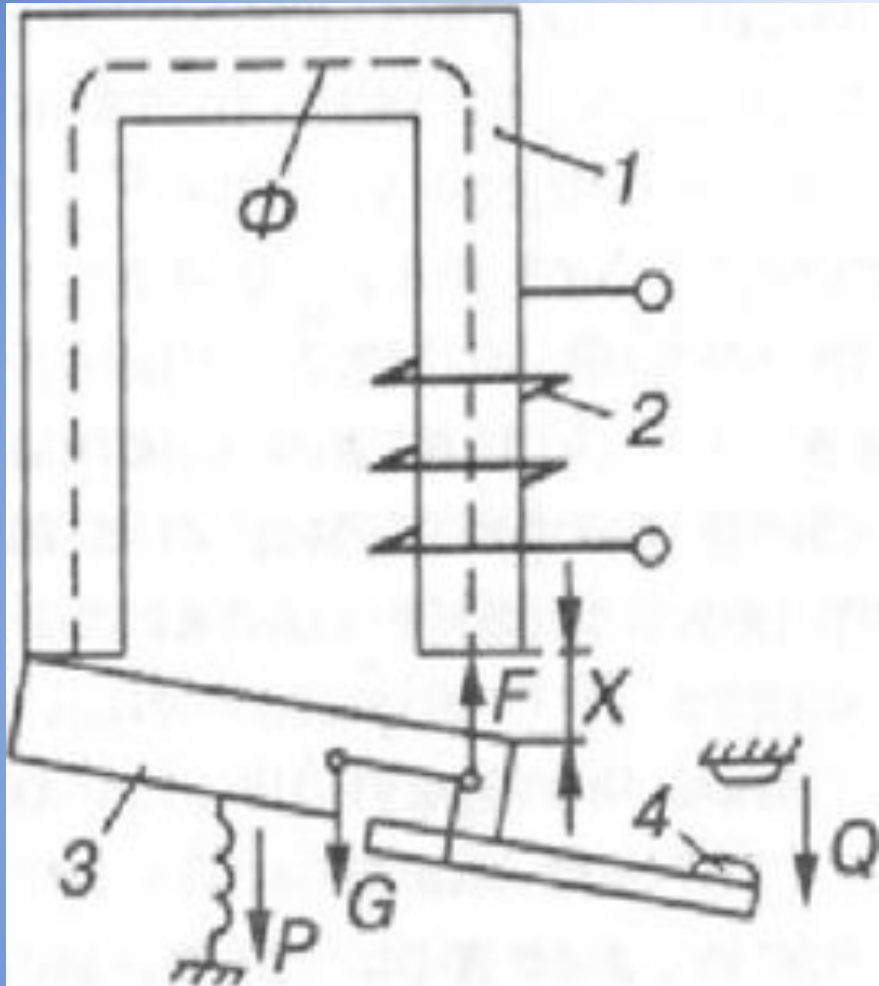


Рис. 3,4. Принципиальная схема электромагнитного привода электрического аппарата:

- 1 — сердечник; 2 — катушка;  
3 — поворотный якорь; 4 — подвижной контакт

Эту зависимость называют тяговой характеристикой привода (рис. 3.5).

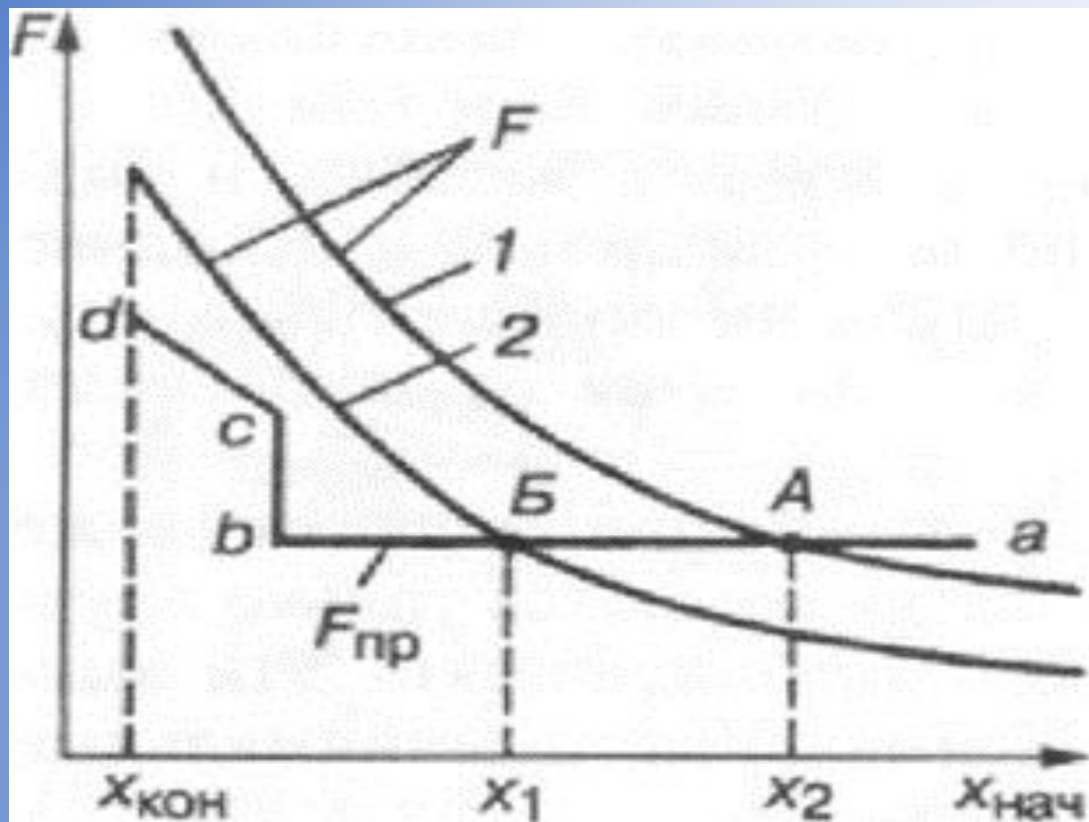


Рис. 3.5. Тяговые характеристики электромагнитного привода электрического аппарата

Электромагнитные приводы аппаратов характеризуются током или напряжением срабатывания и возврата. Током (напряжением) срабатывания называется наименьшее значение тока (напряжения), при котором четко и надежно срабатывает аппарат. Для аппаратов, применяемых в электрооборудовании вагонов, напряжение срабатывания составляет 75% номинального напряжения. Если постепенно плавно снижать ток в катушке, то при определенном его значении аппарат отключится. Наибольшее значение тока (напряжения), при котором аппарат уже отключается, называется током (напряжением) возврата, Ток возврата  $I_v$  (напряжение  $U_v$  всегда меньше тока срабатывания (напряжения  $U_{ср}$ ), так как при включении подвижной системы аппарата необходимо преодолеть силы трения, а также повышенные воздушные зазоры между якорем и сердечником электромагнитной системы, Отношение тока возврата к току срабатывания называют коэффициентом возврата  $K_v, = I_v/I_{ср} = U_v / U_{ср}$ . Этот коэффициент всегда меньше единицы.



## Привод, создающий выдержку времени.

Под выдержкой времени понимают время от момента подачи или снятия напряжения с катушки привода аппарата до начала движения контактов.

Получение выдержки времени на отключение электрических аппаратов с электромагнитным приводом, управляемым постоянным током, основано на использовании закона Ленца. Для этой цели на магнитопроводе (рис. 3.6, а) электромагнита 1, кроме основной катушки 2, устанавливают дополнительную короткозамкнутую катушку 4. При снятии питания с катушки 2 создаваемый ею магнитный поток  $\Phi$  изменяется от своего рабочего значения до нуля.



При этом короткозамкнутой катушке 4 индуцируется ток такого направления, что его магнитный поток  $\Phi_k$  препятствует уменьшению магнитного потока  $\Phi$  и удерживает якорь 3 привода в притянутом положении. Вместо короткозамкнутой катушки может быть установлена на магнитопроводе медная гильза, которую можно рассматривать как короткозамкнутую катушку с одним витком.

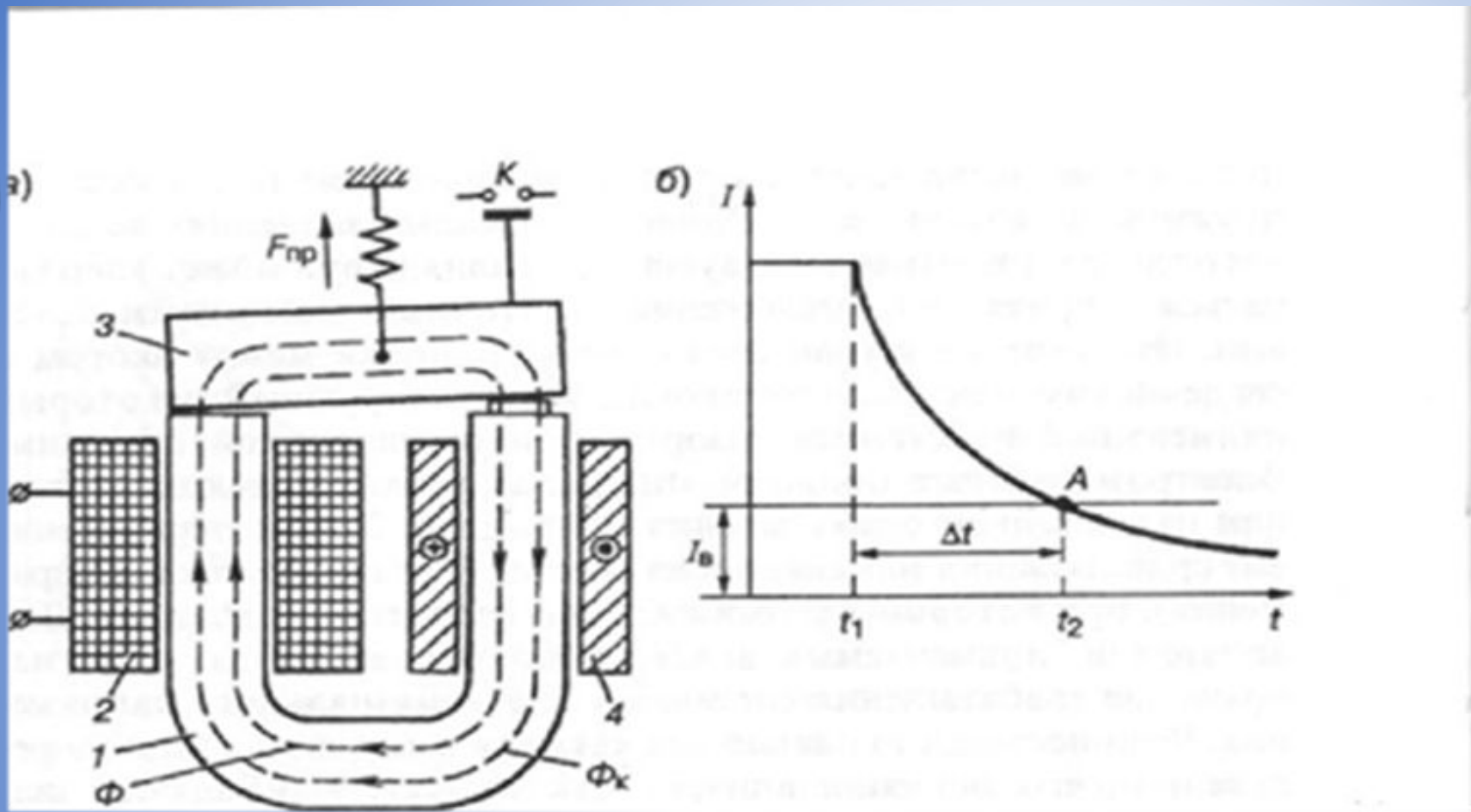


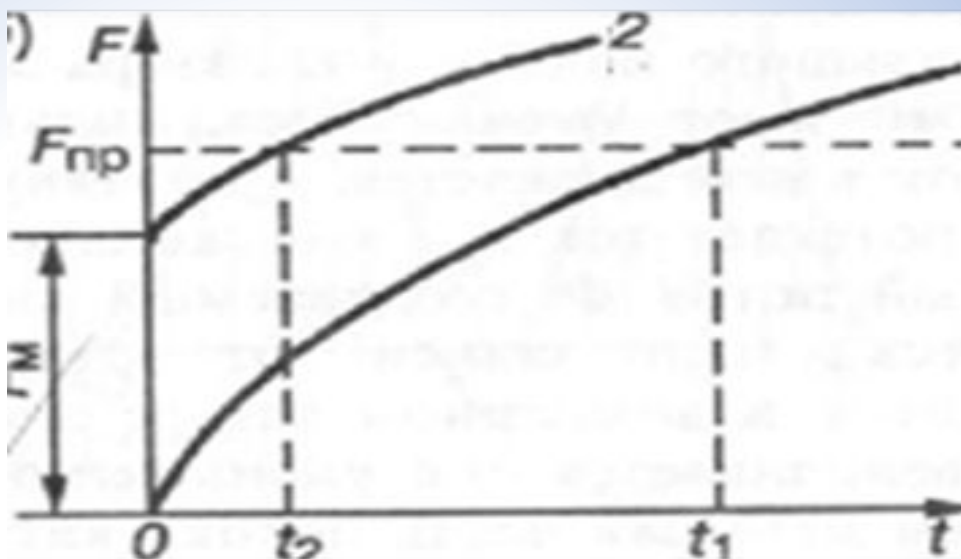
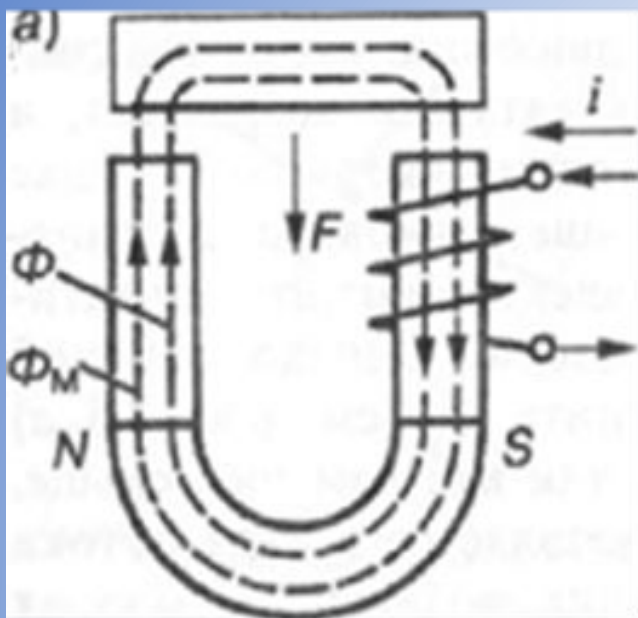
Рис. 3.6 Электромагнитный привод с выдержкой времени (а) и график изменения тока в его катушке (б)

Этого же эффекта можно достичь при замыкании накоротко цепи катушки 2 в момент отключения ее от сети. Если в некоторый момент времени  $t_1$  (рис. 3.6, б) замкнуть накоротко катушку 2, то ток в ней не уменьшается мгновенно до нуля, так как возникающая в катушке ЭДС самоиндукции препятствует уменьшению тока. В соответствии с этим магнитный поток в сердечнике также будет уменьшаться не мгновенно, а постепенно. Пока ток, протекающий по катушке, способен удерживать якорь 3 электромагнита в притянутом положении, контакты аппарата остаются в неизменном положении; когда уменьшающийся ток достигнет значения тока возврата  $I_v$  (точка А), якорь отпадет и контакты переключатся в новое положение. Время  $t$ , прошедшее от момента  $t_1$  отключения катушки привода до момента  $t_2$  его срабатывания, составляет выдержку времени, которое тем больше, чем больше постоянная времени катушки  $T = L_k/r_k$ , где  $L_k$  — индуктивность катушки;  $r_k$ , — активное сопротивление ее цепи. Кроме того, выдержка зависит от тока возврата аппарата, т.е. натяжения противодействующей пружины, наименьшего зазора  $X_{кон}$  (толщины немагнитной прокладки) и других факторов, определяющих этот ток.



## Привод, реагирующий на направление тока.

Для того чтобы привод аппарата мог реагировать на направление управляющего сигнала (тока в катушке), в его магнитную систему включают постоянный магнит (рис. 3.7, а).



Рис, 3.7. Электромагнитный привод, реагирующий на направление тока (а), график изменения его тягового усилия от времени (б)

Такие аппараты называют поляризованными. Если магнитный поток  $\Phi_m$  постоянного магнита направлен согласно потоку  $\Phi$ , создаваемому током в катушке, то время срабатывания аппарата будет значительно меньше, чем без магнита. Из-за наличия постоянного магнита характеристика 2 (рис. 3.7, б), показывающая возрастание тягового усилия во времени, располагается значительно выше, чем характеристика 1 для привода без магнита (на значение тягового усилия  $F_m$ , создаваемого магнитом). Поэтому равенство  $F=F_{пр}$  достигается в нем в момент времени  $t_2$ , в то время как в приводе без магнита в момент  $t_1$ , т. е. быстродействие реле возрастает. Ток же трогания реле уменьшается, так как для срабатывания реле его уменьшается, так как для срабатывания реле его катушка должна создавать меньший поток  $\Phi$  (тяговое усилие создается совместным действием потоков  $\Phi$  и  $\Phi_m$ ). При изменении направления тока в катушке реле поток  $\Phi$  будет направлен против  $\Phi_m$  и реле не срабатывает.



## Привод переменного тока.

В электромагнитах переменного тока (рис. 3.8, а) для уменьшения потерь от вихревых токов магнитопроводы изготавливают из листов электротехнической стали, изолированных друг от друга. Катушка электромагнита обладает как активным  $R_k$ , так и индуктивным  $X_k$  сопротивлениями (рис. 3.8, б).

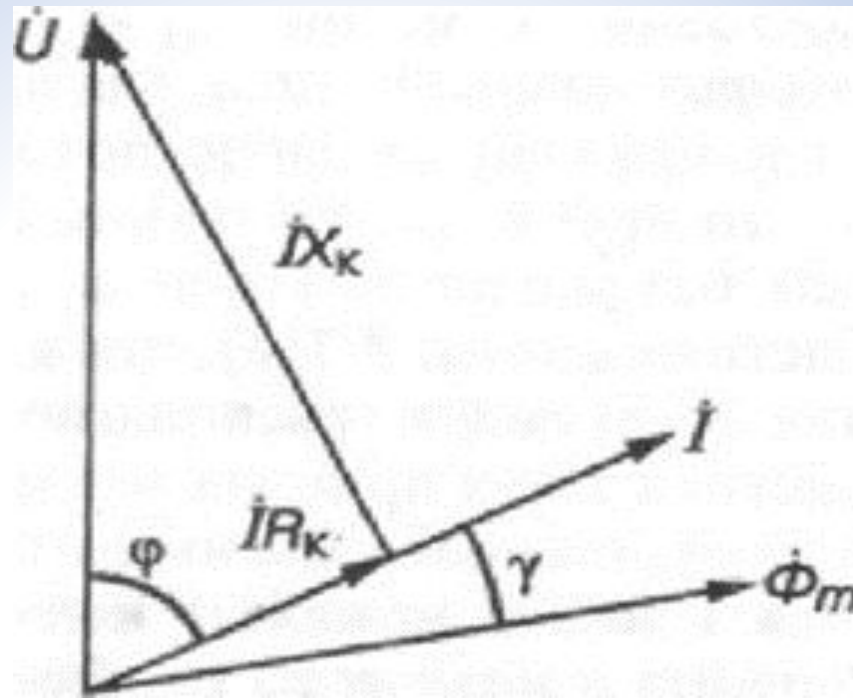
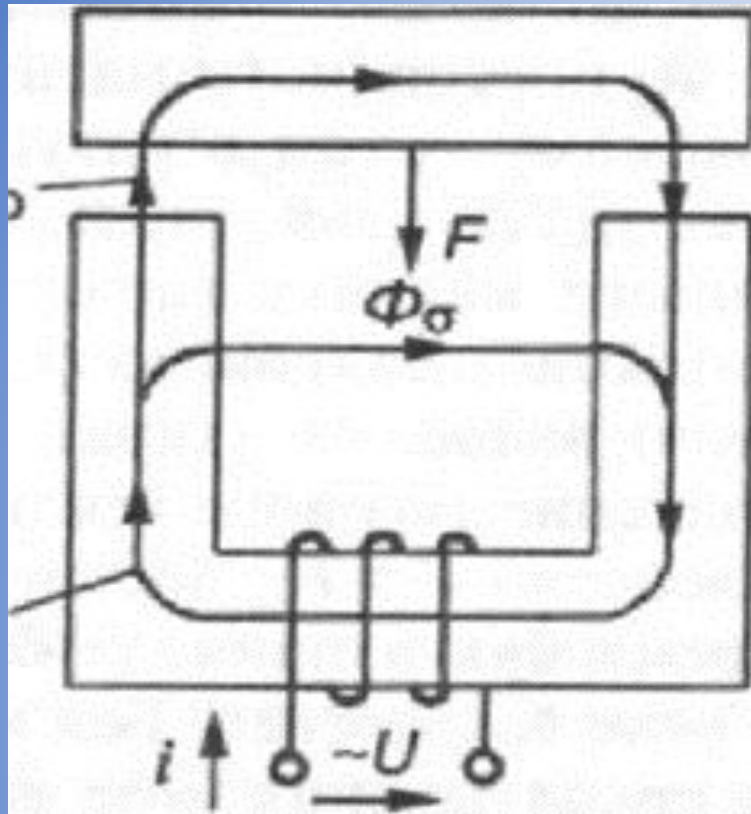


Рис. 3.8. Электромагнитный привод переменного тока (а) и его векторная диаграмма (б)

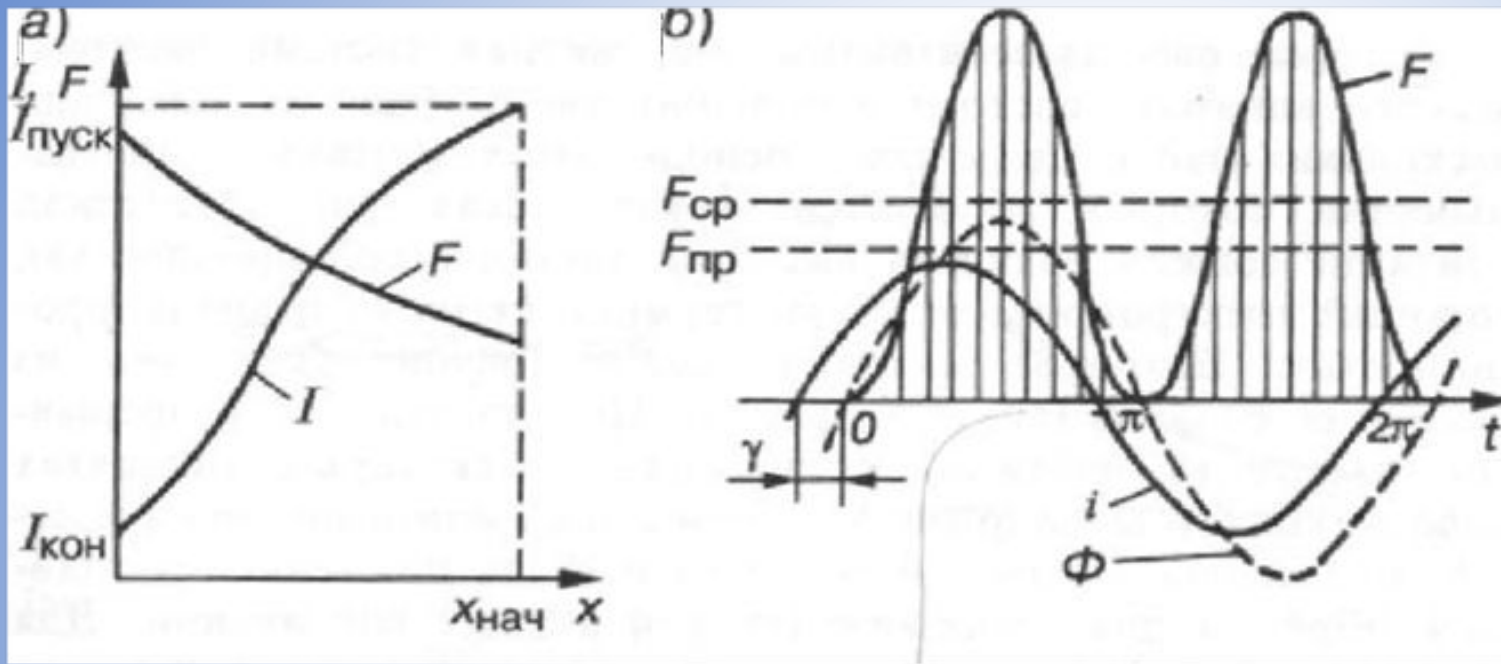


Рис. 3.9. Характеристики электромагнитного привода переменного тока (а) и изменение тока, потока и тягового усилия во времени (б)



При движении якоря воздушный зазор уменьшается, индуктивность катушки возрастает, и ток в ней снижается, в притянутом состоянии якоря по катушке протекает ток в несколько раз меньше пускового. Магнитный поток  $\Phi$ , создаваемый катушкой электромагнита, практически мало зависит от воздушного зазора. Однако рабочий поток в воздушном зазоре электромагнита  $\Phi_r$  (см. рис. 3.8, а) увеличивается при уменьшении зазора, так как чем он меньше, тем меньшая часть потока катушки ответвляется в виде потока рассеяния  $\Phi_q$ . Кроме того, при больших воздушных зазорах индуктивное сопротивление катушки может оказаться малым по сравнению с ее активным сопротивлением и тогда ток будет мало зависеть от зазора.

По этим причинам магнитный поток и тяговое усилие в электромагнитах переменного тока (среднее его значение за период) увеличиваются при уменьшении зазора  $x$  (см. рис. 3.9, а), однако в меньшей степени, чем в электромагнитах постоянного тока. В результате этого ток (напряжение) возврата у электромагнитных приводов переменного тока значительно выше, чем у приводов постоянного тока. При синусоидальном изменении тока  $i$  в катушке электромагнита магнитный поток  $\Phi$  изменяется синусоидально, но из-за магнитных потерь в магнитопроводе отстает от  $i$  на угол  $\alpha$ . Тяговое же усилие  $F$  изменяется с двойной частотой (рис. 3.9, б) и становится равным нулю при переходе потока через нуль. Это приводит к вибрации якоря под действием противодействующего усилия  $F_{пр}$ . В интервалы времени, когда  $F < F_{пр}$ , якорь отходит от сердечника, а затем, когда  $F > F_{пр}$ , он притягивается к нему. При вибрации якоря создается большой шум, а прилегающие к якорю части сердечника расплющиваются, вследствие чего возрастает воздушный зазор и увеличивается ток, что приводит к перегреву катушки.

Для уменьшения вибрации якоря 3 один или два полюса сердечника 1 расщепляют на две части и вокруг одной из них размещают экранирующий короткозамкнутый виток 2, выполненный из медного или латунного провода. Магнитный поток  $\Phi$ , создаваемый током катушки электромагнита, индуцирует в экранирующей витке ток, сдвинутый по фазе на некоторый угол по отношению к току катушки. Ток в короткозамкнутом витке создает свой поток  $\Phi_k$ , замыкающийся через обе части расщепленного полюса. Поэтому результирующие потоки  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  проходящие через эти части и создаваемые ими тяговые усилия  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 3.10, б), будут сдвинуты по фазе друг от друга некоторый угол, а суммарное тяговое усилие  $F$  не будет уменьшаться до нуля, а только до некоторого значения  $F_0$ . Если выполнить электромагнит так, чтобы  $F_0 > F_{пр}$ , то якорь не будет вибрировать.



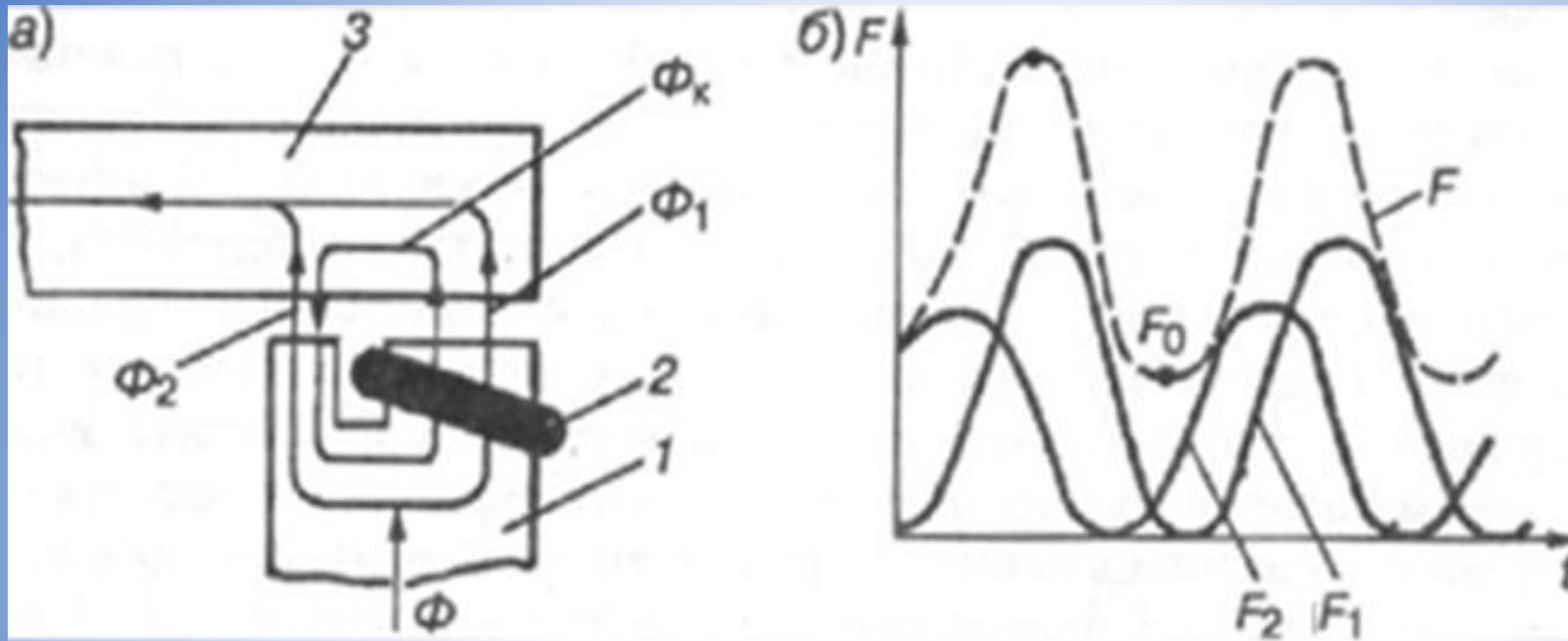


Рис. 3. 10. Электромагнитный привод с короткозамкнутым витком на полюсе сердечника (а) и график изменения тяговых усилий (б):

1 — сердечник; 2 — короткозамкнутый виток; 3 — якорь к механическому износу контактов

## **Контактная система электрических аппаратов**

Условия работы контактов. Контактная система электрического аппарата состоит в большинстве случаев из пары или нескольких пар подвижных и неподвижных контактов, при замыкании которых образуется электрическая цепь. Материал контакта должен обладать высокой механической прочностью, хорошей электропроводностью, термостойкостью и антикоррозийностью. Широкое распространение получили контакты из меди и ее сплавов (латунь, бронза).

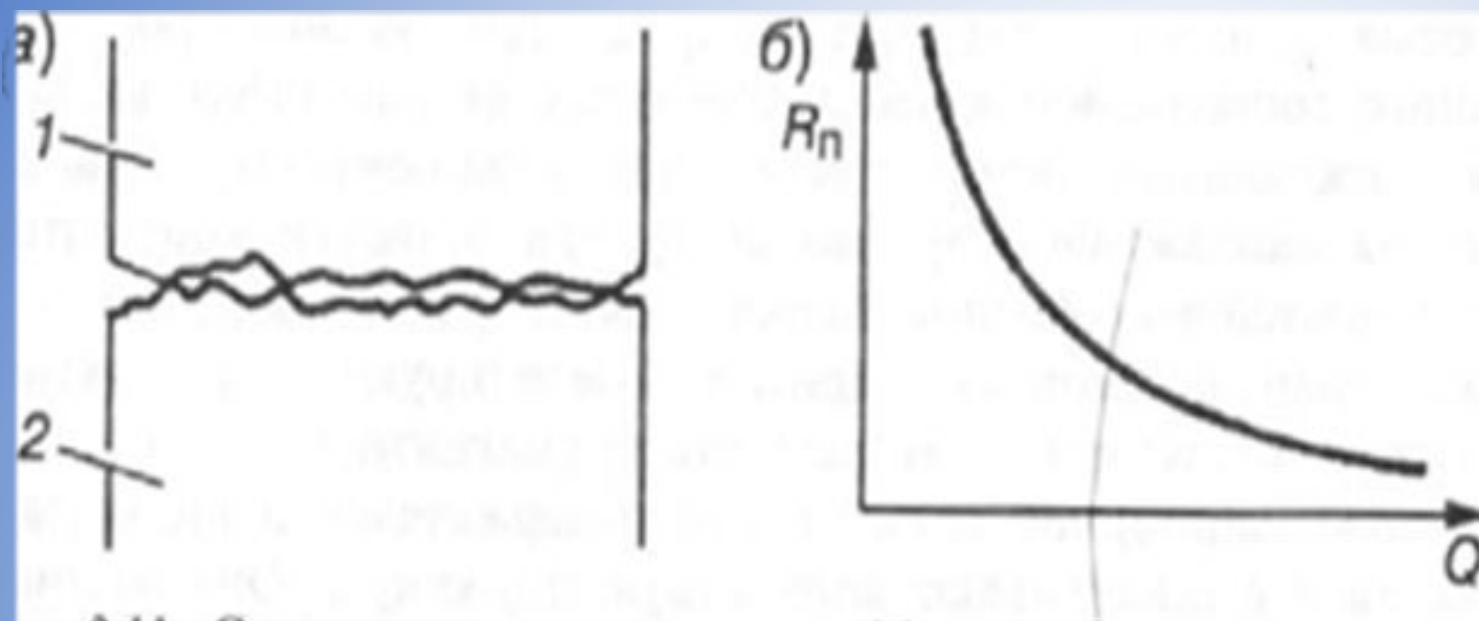


Рис. 3.11. Соединение двух контактов (а) и зависимости изменения переходного сопротивления от контактного нажатия (б): 1,2 - контактные поверхности

При нажатии контактов силой  $Q$  происходит частичное смятие материала контакта и продавливание пленок в точках соприкосновения; при этом возрастает площадь реального соединения и уменьшается переходное сопротивление  $R_{п}$  (рис. 3.11, б). На контакты электрических аппаратов в моменты их включения и отключения действуют силы, которые влияют на переходное сопротивление и приводят к электродинамическим и механическим износам контактов. В первый момент включения аппарата, когда на контактные поверхности еще полностью не действует сила нажатия, соприкосновение происходит по отдельным точкам, через которые проходит весь ток  $i$  (рис. 3.12, а). При этом линии тока в месте контактного перехода искривляются, располагаются параллельно и имеют в нижнем и верхнем контактных элементах противоположное направление (рис. 3.12, б).



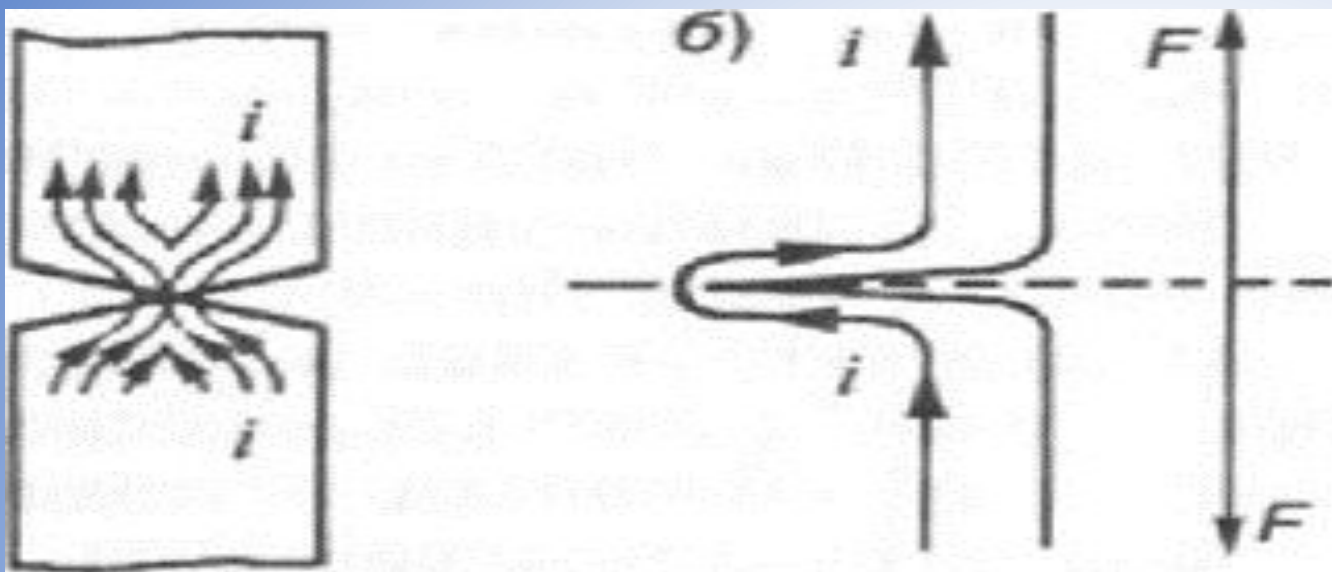


Рис. 3. 12, Схема линий тока (а) и направление электродинамических сил при включении контактов (б)

Магнитные поля этих токов, взаимодействуя между собой, создают электродинамические усилия взаимного отталкивания  $F$ , которые стремятся разомкнуть контакты и вызывают их вибрацию. Кроме электродинамических усилий, отталкиванию контактов способствуют механические силы, возникающие в момент упругого удара одного контакта о другой. В результате под действием сил нажатия и инерции происходит вибрация контактных элементов, что приводит к расплющиванию и механическому разрушению контактов. В момент размыкания контактов между ними образуется электрическая дуга, вызывающая электрический износ контактов (их выгорание и эрозию).

# Контактные системы аппаратов

В аппаратах, рассчитанных на значительные токи и большое число включений (выключатели, контакторы, контроллеры), применяют конструкции контактов с перекатывающими поверхностями, для чего этим поверхностям придается выпуклая форма.

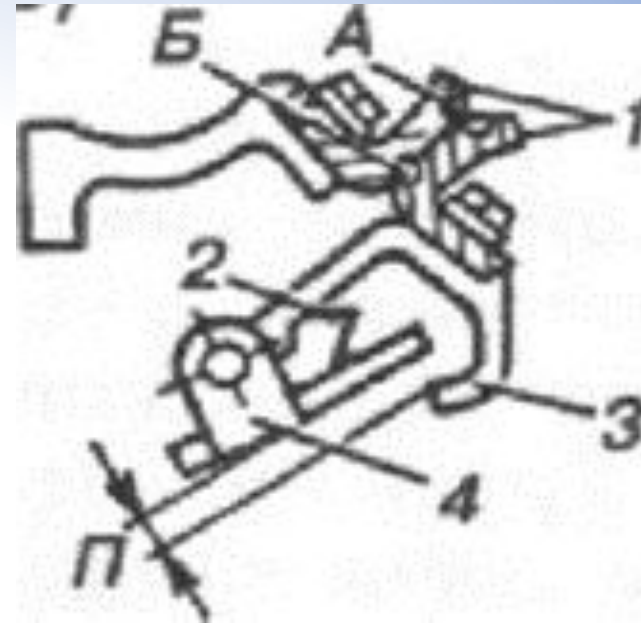
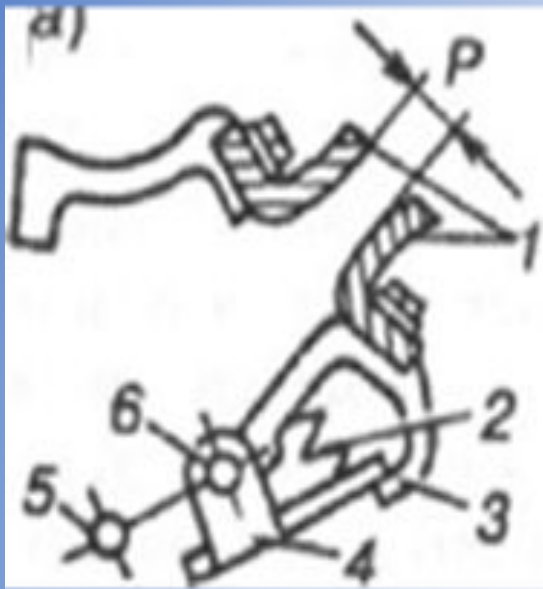


Рис. 3.13. Схема замыкания контактов в аппаратах с перекатывающими контактами:

1 — подвижной контакт; 2 — контактная пружина; 3 — держатель; 4 — контактный рычаг; 5 — ось



В начальном положении аппарата между контактами имеется зазор Р (рис. 3.13, а). При перемещении якоря контактный рычаг 4 с держателем 3 поворачивается вокруг оси 5, вследствие чего контакты соприкасаются друг с другом точками А (рис. 3.13, б). При дальнейшем движении якоря контактный рычаг продолжает поворачиваться, контактная пружина 2 сжимается, увеличивая нажатие на контакты, и подвижной контакт перекачивается по неподвижному. После окончания процесса включения контакты соприкасаются друг с другом точками Б (рис. 3.13, в). При отключении аппарата процесс размыкания контактов происходит в обратном порядке, следовательно, перед началом размыкания контакты соприкасаются точками А и при дальнейшем их расхождении между этими точками образуется дуга.

В аппаратах с Г- и Т-образными контактами о провале судят по изменению зазора  $\Pi$  между подвижным контактом 1 и его упором. Провал контактов  $\Pi$  определяют по изменению зазора между подвижным контактом и его упором во включенном положении контактов. Раствор контактов измеряют при разомкнутом положении контактов в самом узком месте между ними, обычно оно составляет 1—20 мм. Нажатие контактов создается предварительным натяжением контактной пружины 2. Она снижает переходное сопротивление контактов во включенном состоянии, предотвращая их перегрев проходящим током, смягчает удары при включении контактов и снижает их вибрации, что предохраняет контакты от приваривания при включении электрической цепи.

В аппаратах, рассчитанных на небольшие токи, применяют точечные контакты мостикового типа (рис. 3. 14). Контактный мостик 2 с припаянными к нему контактами и контактной пружиной 3 устанавливают на подвижной части аппарата. При включении такой мостиковый контакт замыкает неподвижные контакты 1, создавая между ними электрическую цепь. Раствор контактов Р в этих аппаратах определяется расстоянием между ними при отключённом положении контактов (можно определить с помощью шаблона); провал П определяется в замкнутом положении контактов по перемещению поводка 4, на котором укреплен контактный мостик, от начала соприкосновения контактов до положения, соответствующего их полному включению.

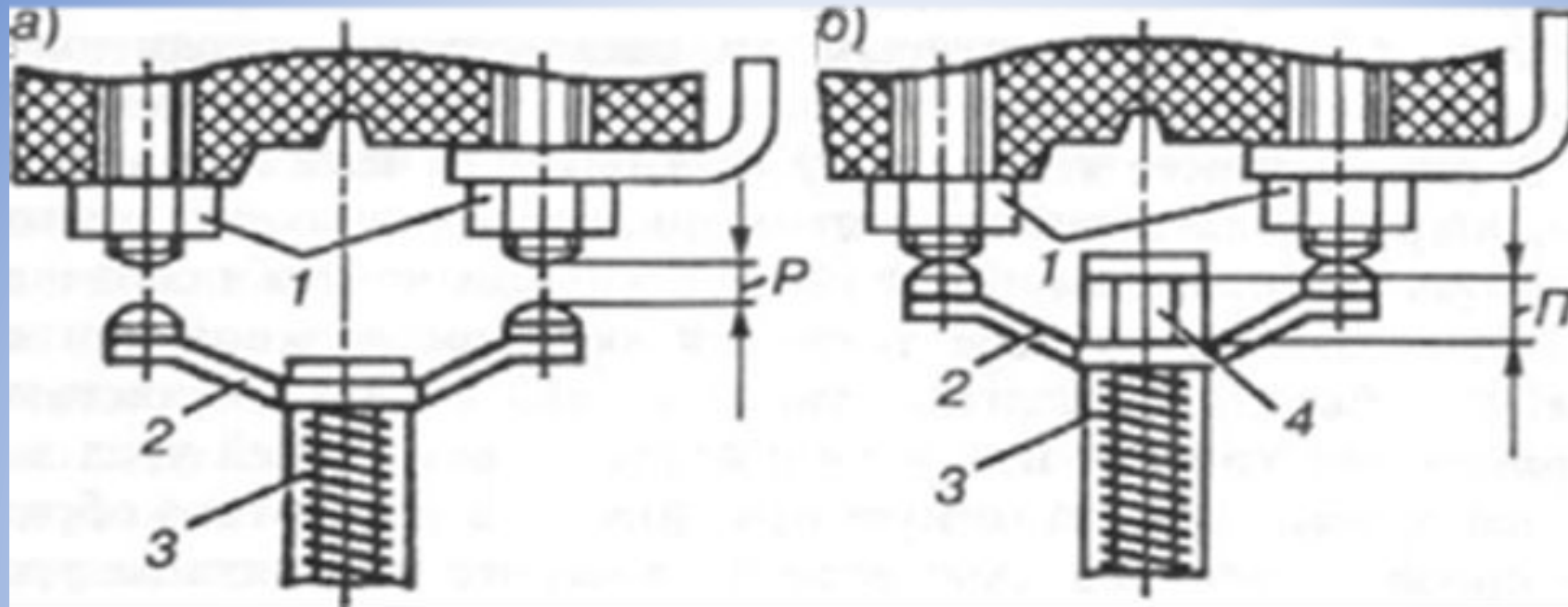


Рис. 3.14. Точечные контакты мостикового типа:

1-неподвижные контакты; 2 — контактный мостик; 3 — контактная пружина; 4 — поводок



## В аппаратах барабанного типа

– контроллерах часто используют пальцевые контакты (рис. 3.15, а). Неподвижный контакт 2 (палец) прижимается к вращающемуся на оси 4 барабану пружиной 1. Подвижные контакты 3, 5, 6 укреплены на барабане в виде полос или сегментов, обычно выполненных из меди. В зависимости от тока параллельно может устанавливаться несколько пальцев. В различных разъединителях, плавких предохранителях применяют рубящие контакты (рис, 3.15, б), состоящие из плоского медного или латунного ножа 7 (подвижного контакта) и неподвижного контакта 8 в виде стоек из упругого металла. При больших токах стойки усиливаются дополнительными стальными пружинами 9.

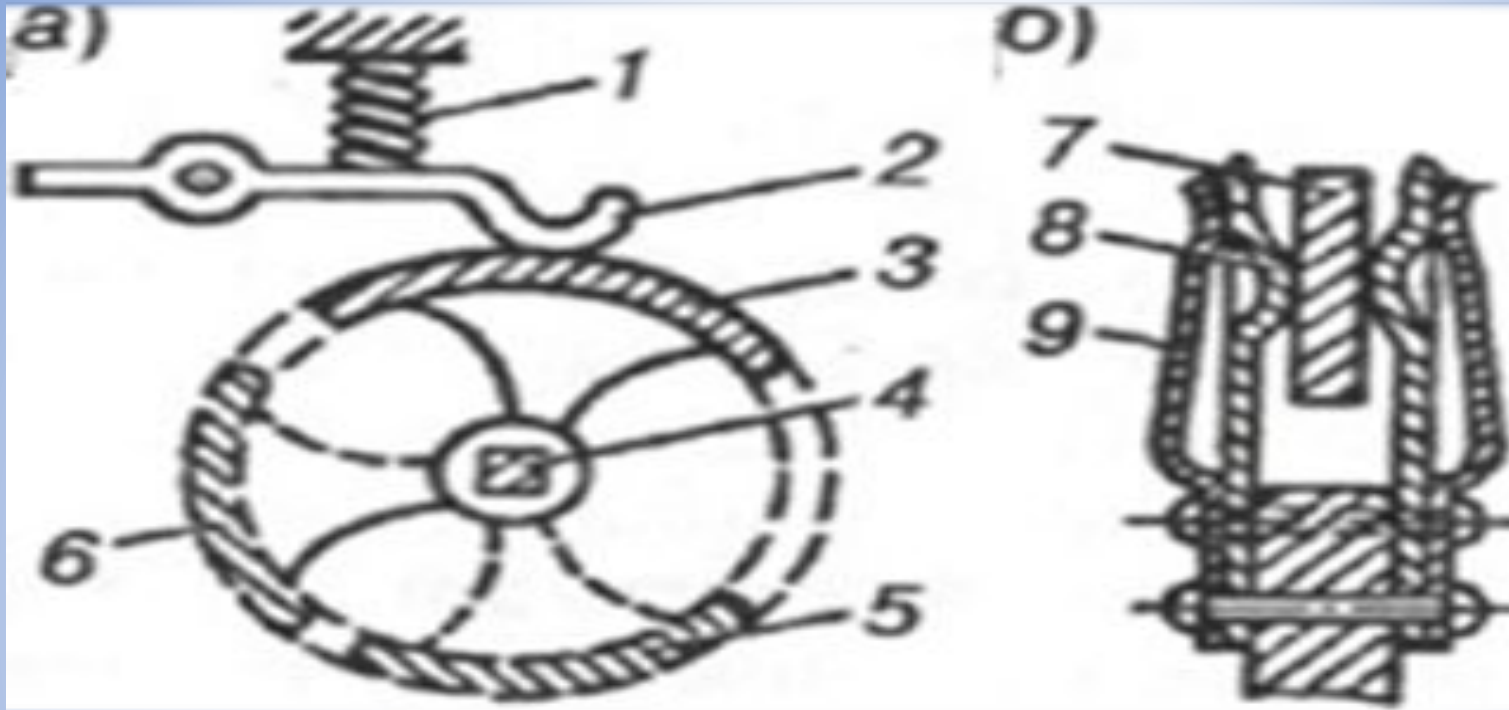


Рис. 3.15. Пальцевые (а) и рубящие (б) контакты: 1 — пружина; 2 — неподвижный контакт (палец); 3, 5, 6 — подвижные контакты; 4 — ось; 7 — латунный нож; 8 — неподвижный контакт; 9 — пружина

## Дугогасительные устройства электрических аппаратов

Условия гашения электрической дуги. При размыкании контактов электрического аппарата, осуществляющего отключение электрической цепи в нормальном или аварийном режиме, возникает электрическая дуга. Для ионизации пространства между контактами и возникновения дуги необходимо, чтобы напряжение между ними было не менее 15—30 В и ток в цепи был не менее 80—100 мА. Для гашения дуги при постоянном токе необходимо, чтобы падение напряжения в дуге было больше приложенного к ней напряжения. Основным средством повышения падения напряжения в дуге является увеличение длины дуги.

## Способы гашения дуги

могут быть различные, но все они основываются на следующих принципах: принудительное удлинение дуги; охлаждение межконтактного промежутка воздухом или газом; разделением дуги на ряд отдельных дуг, При удлинении дуги и удалении ее от контактов происходит увеличение падения напряжения в столбе дуги и напряжение, приложенное к контактам, становится недостаточным для поддержания дуги.



## Дугогасительные устройства.

Принцип гашения путем удлинения дуги используется в аппаратах с защитными рогами и в разъединителях.

Электрическая дуга 5 (рис. 3.16, а), возникающая между контактами 1 и 2 при их размыкании, поднимается вверх под действием усилия  $E_v$ , создаваемого потоком нагретого ею воздуха, растягивается и удлиняется на расходящихся неподвижных рогах 3 и 4, что приводит к ее гашению.

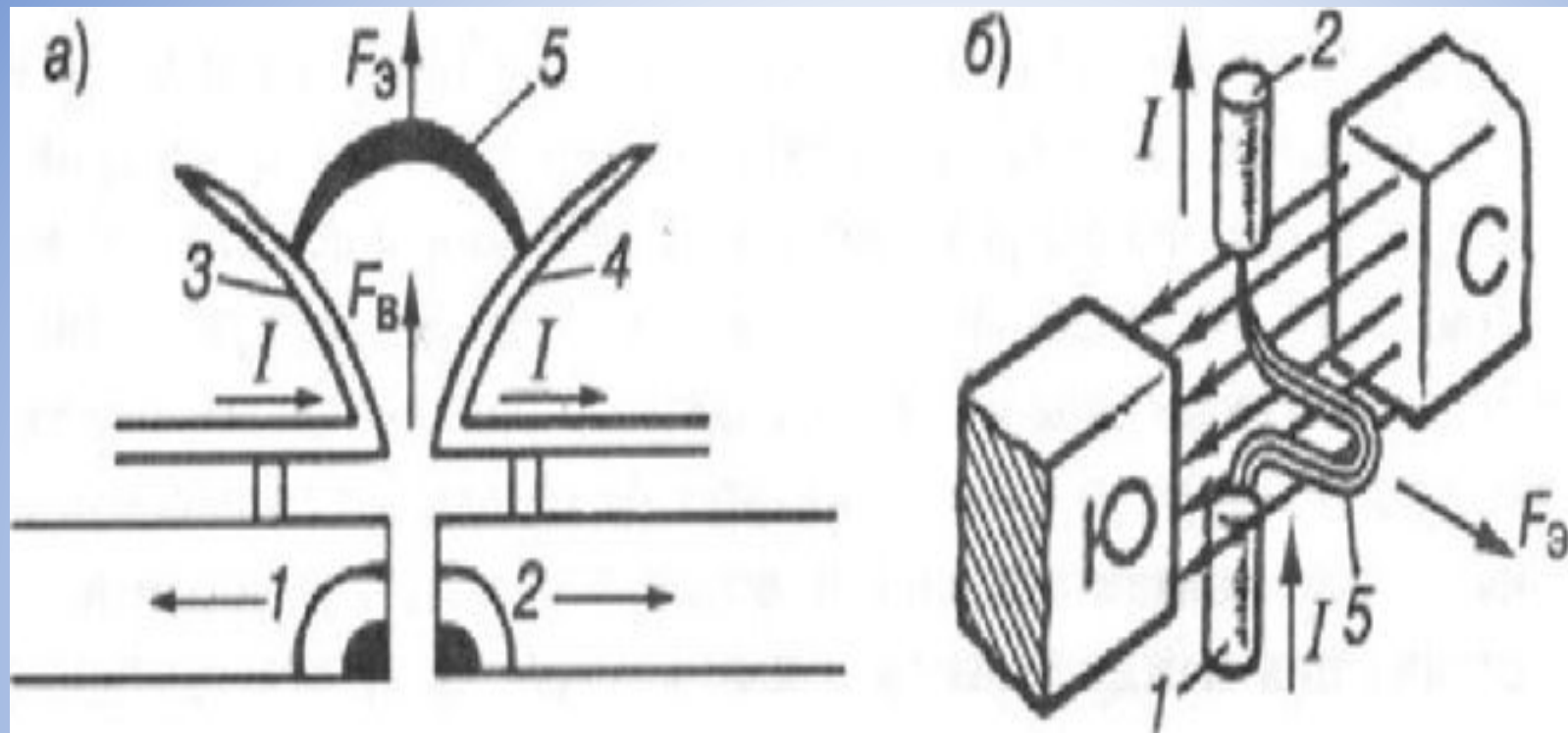


Рис. 3. 16. Устройства для удлинения дуги:  
 1,2-контакты; 3, 4 — неподвижные рога

Удлинению и гашению дуги способствует также электродинамическое усилие  $F_{\text{э}}$ , создаваемое в результате взаимодействия тока дуги с возникающим вокруг нее магнитным полем. В этом случае дуга является проводником с током, находящимся в магнитном поле (рис. 3,16, б), которое стремится вытолкнуть его из пределов поля. Для увеличения электродинамического усилия  $F_{\text{э}}$ , действующего на дугу, в цепь одного из контактов в ряде случаев включают специальную дугогасительную катушку с ферромагнитным магнитопроводом (рис. 3.17), создающую в зоне дугообразования сильное магнитное поле, магнитный поток которого  $\Phi$ , взаимодействуя с током  $I$  дуги, обеспечивает интенсивное выдувание дуги. Быстрое перемещение дуги вызывает ее интенсивное охлаждение, что также способствует ее деионизации и гашению. Для охлаждения электрической дуги с последующим ее гашением служат различные дугогасительные камеры.

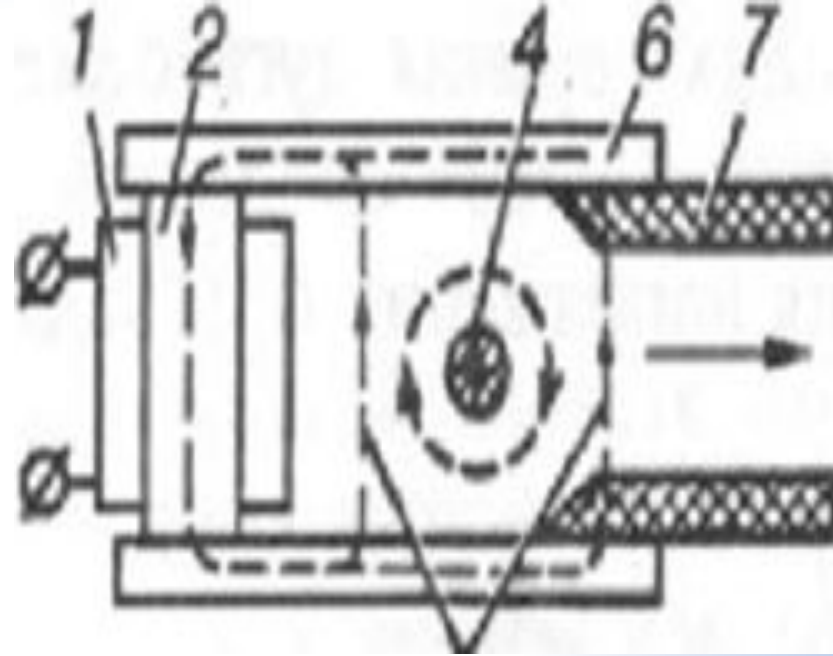
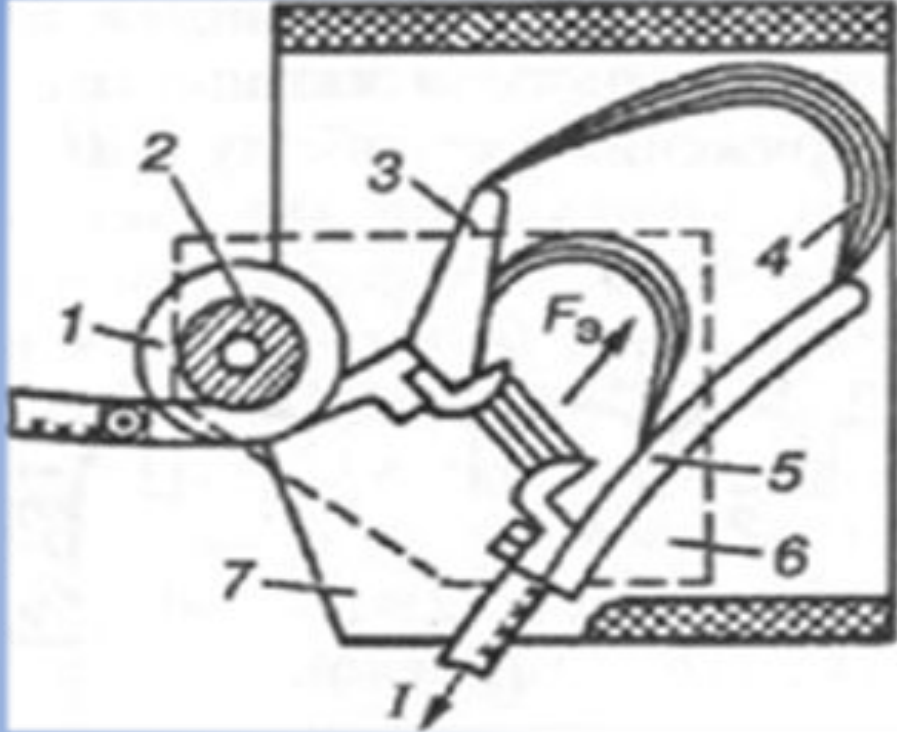
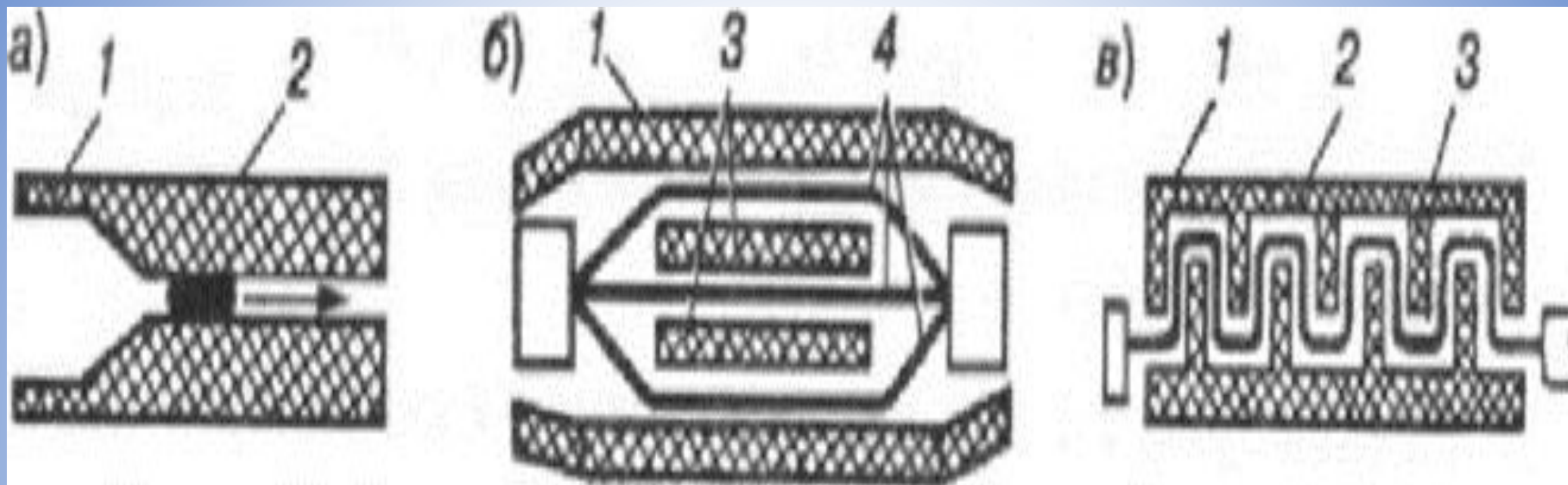


Рис. 3. 17. Дугогасительное устройство с магнитным дутьем:

1 — дугогасительная катушка; 2 — сердечник; 3, 5 — дугогасительные рога; 4 — электрическая дуга; 6 — полюсы; 7 — дугогасительная камера



Электрическая дуга 2 (рис. 3,18, а) под действием магнитного поля и потока воздуха попадает в узкие щели или лабиринт камеры 1, где она соприкасается с ее стенками и перегородками 3 (рис. 3.18, б), отдает им тепло и гаснет. Широкое применение в электрических аппаратах находят лабиринтно-щелевые камеры (рис, 3.18, в), где дуга удлиняется не только путем растягивания между контактами, но и вследствие ее зигзагообразного искривления между перегородками камеры.



Рис, 3.18. Конструкции дугогасительных камер  
1-камера; 2 — дуга; 3 — перегородки

К дугогасительным устройствам, действие которых основано на разделении на ряд коротких дуг, относят деионную решетку 2 (рис. 3.19, а), встроенную внутрь дугогасительной камеры 1. Деионная решетка состоит из ряда отдельных пластин, изолированных друг от друга. Электрическая дуга 4, возникшая между размыкающимися контактами 3 и 5 (рис. 3. 19, б), разделяется решеткой на ряд более коротких дуг соединенных последовательно. Для поддержания горения дуги без ее разделения требуется напряжение  $U$ , равное сумме околоэлектродного (анодного и катодного) падения напряжения в столбе дуги  $U_{ст}$ .

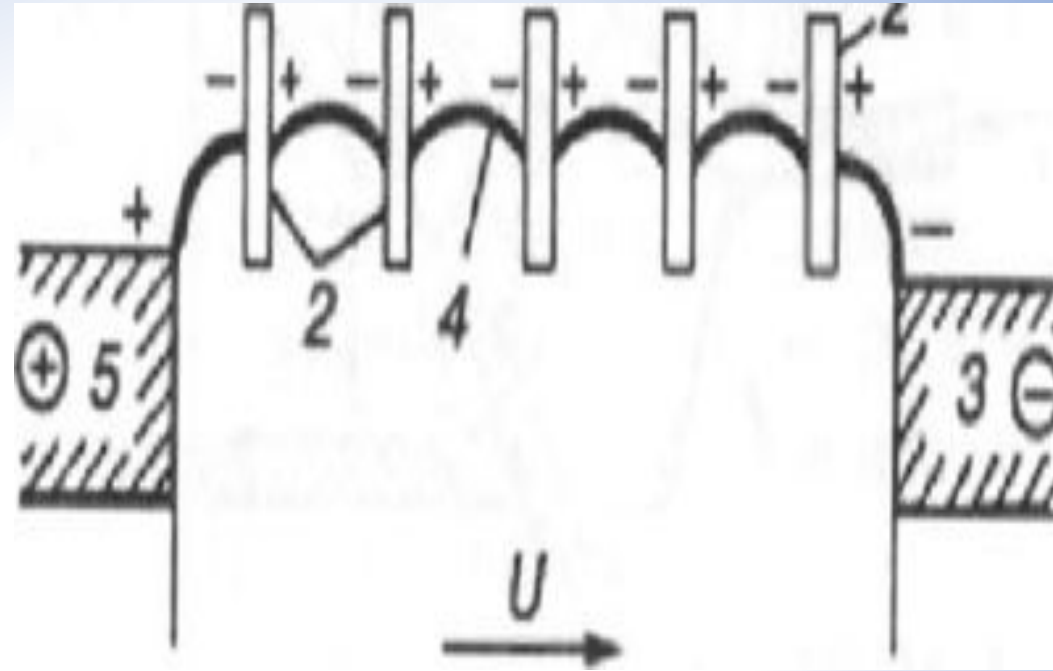


Рис. 3.19. Дугогасительное устройство с деионной решеткой

1 — камера; 2 — деионная решетка; 3, 5 — контакты; 4 — дуга



При разделении одной дуги на  $n$  коротких дуг суммарное падение напряжения в столбе всех коротких дуг по-прежнему будет равно  $U_{ст}$  как и у одной общей дуги, но суммарное околоэлектродное падение напряжения во всех дугах будет равно  $nU_э$ . Поэтому для поддержания горения дуги в этом случае потребуется напряжение  $U = U_{ст} + nU_э$ . Число дуг  $n$ , равное числу пластин решетки, может быть выбрано таким, чтобы возможность устойчивого горения дуги при данном напряжении была полностью исключена. При переходе переменного тока через нулевое значение для поддержания дуги требуется напряжение 150—250 В. В связи с этим число пластин может быть выбрано значительно меньшим, чем при постоянном токе.