

РАЗРАБОТКА КОМАНДОАППАРАТОВ НА БАЗЕ ГЕРКОНОВ И ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

В. Н. Шоффа – д.т.н.

111250, ул. Красноказарменная, Москва, Россия

Московский энергетический институт (Технический университет)

Приведена классификация основных способов управления герконами с применением постоянных магнитов. Даны рекомендации по конструированию командоаппаратов на их базе.

The paper presents a classification of the basic methods of reed switch operation using constant magnets. The recommendations on designing of the command-apparatus on their base are given.

К командоаппаратам на магнитоуправляемых контактах (МК) – герконах относятся: кнопки, тумблеры, конечные, путевые и пакетные переключатели, распределители сигналов, устройства адресования и др. Переключение МК осуществляется перемещением или изменением магнитного состояния управляющего элемента (УЭ), что приводит к перераспределению магнитного поля. Роль УЭ может выполнять подвижный постоянный магнит (ПМ), подвижная или неподвижная ферромагнитная деталь (в последнем случае функционирование аппарата реализуется за счет изменения магнитного состояния этой детали, например, при воздействии температуры) или быстро перемещающийся немагнитный экран, в котором наводятся вихревые токи, препятствующие проникновению в МК поля от ПМ.

Функциональные параметры. К основным функциональным параметрам командоаппаратов с МК и ПМ, для наиболее распространенных видов этих аппаратов – с подвижным УЭ, относятся следующие:

$y_{ср}$ – координата (линейная, угловая) срабатывания, характеризующая расстояние между УЭ и МК при срабатывании последнего, измеряемое по направлению перемещения УЭ (рис. 1);

$y_{от}$ – координата отпускания, определяемая соответственно отпускаянн МК (рис. 1);

d_y – разность хода (дифференциал хода) – разницa координат отпускания и срабатывания: этот параметр характеризует аппараты, использующие реверсивное перемещение УЭ, когда последний после срабатывания МК меняет направление перемещения на противоположное, обеспечивая отпускание МК (рис. 1а);

Δy – зона замкнутого состояния МК: при реверсивном перемещении УЭ (рис. 1а) $\Delta y = d_y$, а при нереверсивном (рис. 1б) $\Delta y = 2y_{ср} + d_y$. Зона замкнутого состояния в путевых переключателях – зона их функциональной нечувствительности к перемещению УЭ.

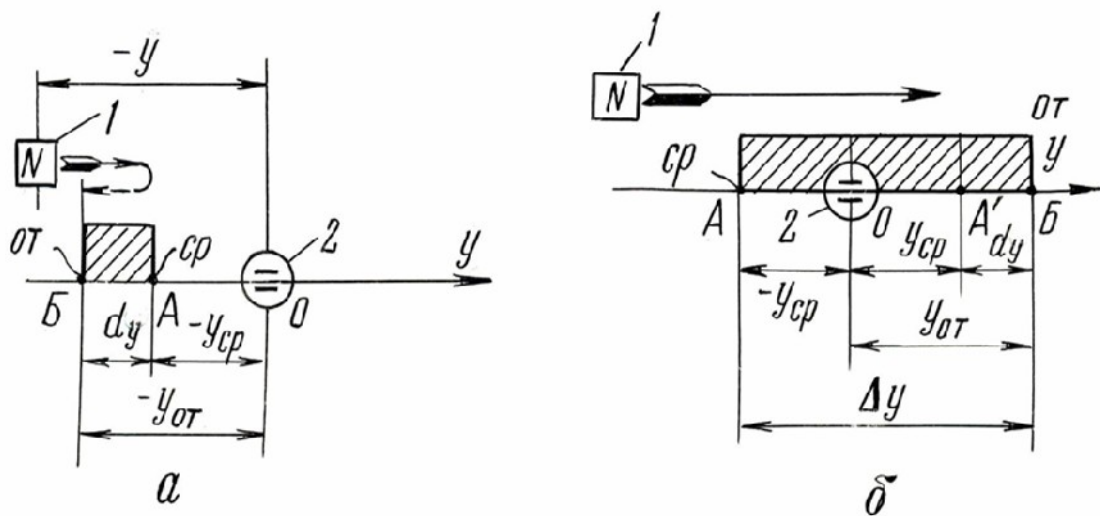


Рис. 1. Определение координат срабатывания, отпускания, разности хода и зоны замкнутого состояния а, б – при управлении ПМ, перемещающимся после срабатывания МК для его отпускания соответственно в обратном и в том же направлениях; 1 – ПМ; 2 – МК.

Параметры, определяющие координаты срабатывания (отпускания) МК при управлении ПМ – величины, характеризующие магнитное поле в моменты изменения коммутационного состояния МК.

В качестве такой величины, согласно одной из существующих методик, принимается составляющая (H_{cp} или $H_{от}$) напряженности магнитного поля (при отсутствии МК в месте планируемого размещения рабочего зазора МК, направленная по продольной оси последнего. Величины H_{cp} и $H_{от}$ рассматриваются как значения, пропорциональные МДС срабатывания и отпускания МК, измеренные в охватывающей его обмотке. Такой подход не является универсальным для количественного определения функциональных параметров командоаппаратов на базе МК, однако для качественного анализа работы этих аппаратов он может быть использован.

Виды командоаппаратов. Командные аппараты на МК с управлением полем ПМ подразделяются на:

- *кнопочные переключатели, тумблеры и другие аппараты*, функционирование которых определяется механическим воздействием со стороны оператора или контролируемого объекта; как правило, основные требования к ним – уменьшение разности хода (способствует уменьшению габаритов) и обеспечение обратной связи оператору о совершении переключения;

- *путевые (конечные) переключатели*, работающие без механического контактирования с контролируемым объектом; требования – стабильность координат срабатывания и отпускания; в ряде случаев предьявляется требование возможности регулирования этих координат;

- *многоцепные переключатели и распределители сигналов – поворотные и линейные*; для них характерны требования сужения зон Δ_y каждого из МК для исключения перекрытия указанных зон соседних МК, что способствует сокращению габаритов аппаратов; кроме того, при проектировании таких устройств предьявляются требования к снижению разброса параметров срабатывания и отпускания отдельных МК, так как разброс изменяет ширину Δ_y МК и, следовательно (например, для распределителей сигналов), – длительность сигнала, выдаваемого каждым из МК;

- *сигнализаторы превышения (снижения) определенного уровня температуры, скорости и других величин*; требования к ним – надежность и точность срабатывания.

Дополнительные требования, предьявляемые к перечисленным аппаратам: снижение дребезга контактов для уменьшения износа, устранения выдачи в коммутируемую цепь повторных (ложных) сигналов и генерирования в окружающую среду высокочастотных колебаний; повышение виброудароустойчивости; снижение влияния внешних магнитных полей; реализация функции памяти и др.

1. Способы управления магнитоуправляемыми контактами в командоаппаратах

Подробная классификация основных способов управления МК с использованием ПМ (без подмагничивания МК дополнительным магнитным полем, с указанным подмагничиванием и в ферритовых устройствах) дана в [1].

Здесь же рассмотрены только наиболее распространенные способы управления – без подмагничивания МК дополнительным магнитным полем.

1.1. Управление изменением взаимного расположения МК и ПМ

Наиболее часто используемые расположения продольной оси МК и оси намагничивания стержневых ПМ: параллельное и взаимно перпендикулярное. На рис. 2а показано качественное распределение линий напряженности магнитного поля H постоянного магнита и распределение ее тангенциальной составляющей H_t вдоль линии $A - A$.

Если МК представить в виде пробного (бесконечно малого) магнитомягкого тела и поместить последнее продольной осью по линии $A - A$, то при движении ПМ слева направо составляющая H_t в области рабочего зазора МК дважды меняет знак. При близком расположении МК (со значениями H_{cp} и $H_{от}$) относительно магнита МК будет иметь три цикла “срабатывание – отпускание” (рис. 2а, индексы $cp_1 - ot_1$, $cp_2 - ot_2$, $cp_3 - ot_3$). В этом случае влияние нормальной составляющей H_n поля ПМ на работу МК несущественно ввиду большого размагничивающего действия контактных сердечников (КС) МК в этом направлении.

Аналогичные распределения H_n при взаимно перпендикулярном расположении ПМ с МК, размещенным вдоль линии $A - A$, представлены на рис. 2б.

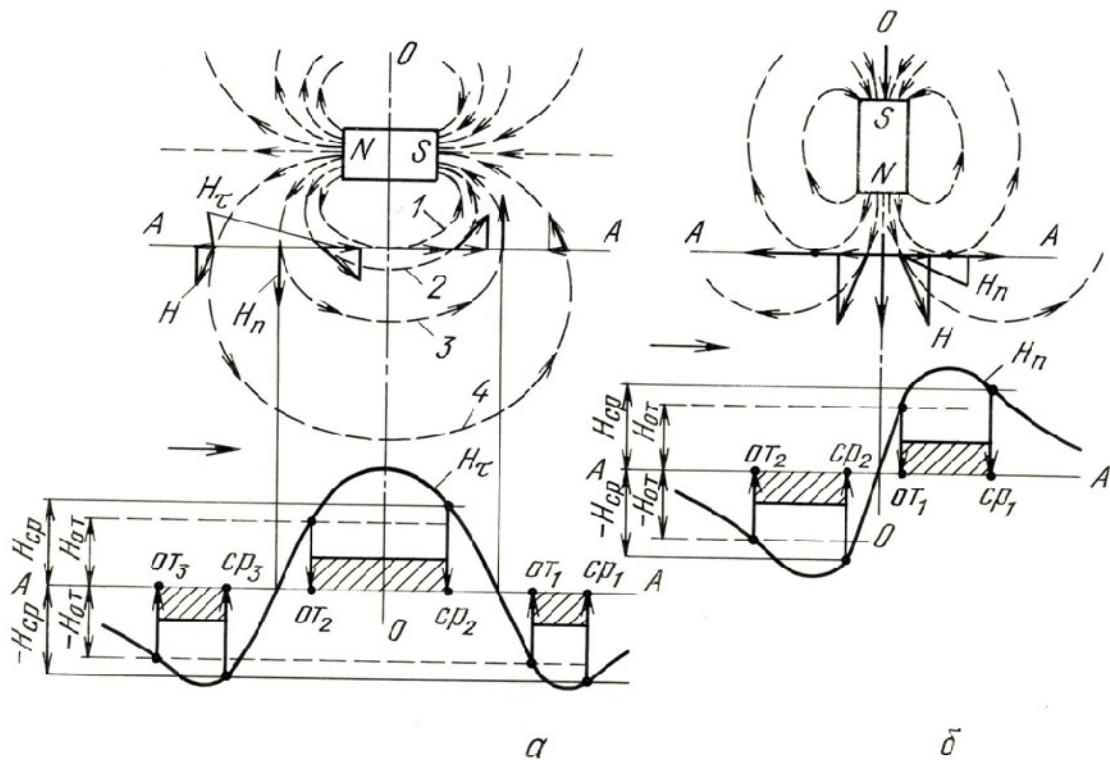


Рис. 2. Управление МК, представляемым как пробное магнитомягкое тело, стержневыми ПМ:
а, б – тангенциальная H_t и нормальная H_n составляющие поля.

При перемещении ПМ слева направо (рис. 2б) перекрытие контактных сердечников МК в начале оказываются в зоне положительных, а затем – в зоне отрицательных значений H_n , что обуславливает двукратный цикл “срабатывание – отпускание”.

Управление МК полем подвижного ПМ предоставляет широкие возможности для разработки устройств с различными функциональными характеристиками. На рис. 3 схематично показаны наиболее распространенные способы управления МК изменением положения стержневого ПМ. Во всех случаях координата срабатывания меньше координаты отпускания. При неререверсивном перемещении ПМ относительно МК зоны замкнутого состояния последнего (например, ΔZ_1 , ΔZ_2 – рис. 3а и ΔZ – рис. 3д) уменьшаются с увеличением расстояния между МК и ПМ. Сравнение различных способов управления МК стержневыми ПМ прямолинейным перемещением последних проведено в [2].

Для управления МК кроме стержневых используются также кольцевые ПМ с различными видами намагничивания [3]. Наиболее часто применяются кольцевые ПМ с радиальным и аксиальным намагничиванием (рис.4). На рисунке приближенно показаны направления основных линий магнитного поля в этих системах и диаграммы циклов “срабатывание – отпускание” МК при перемещении ПМ.

Картины поля кольцевых ПМ отличаются наличием особых точек [3]. У кольцевого ПМ с радиальным намагничиванием при отсутствии МК – одна особая точка, расположенная в центре внутренней воздушной полости ПМ (рис. 4а, $Z = 0$). Вследствие этого распределение напряженности магнитного поля вдоль такого ПМ аналогично показанному на рис. 2б: с двумя максимумами различных знаков. Таким образом, при управлении кольцевым радиально намагниченным ПМ имеются две зоны замкнутого состояния МК, расположенные симметрично по обе стороны поперечной плоскости сечения ПМ.

У кольцевого ПМ с аксиальным намагничиванием – две точки (А и А') – рис. 4б, расположенные на оси ПМ. Это обуславливает три максимума в распределении напряженности поля по оси ПМ – центральный и два боковых, аналогично распределению, представленному на рис. 2а. При перемещении такого ПМ вдоль оси МК возможно трехкратное “срабатывание – отпускание”.

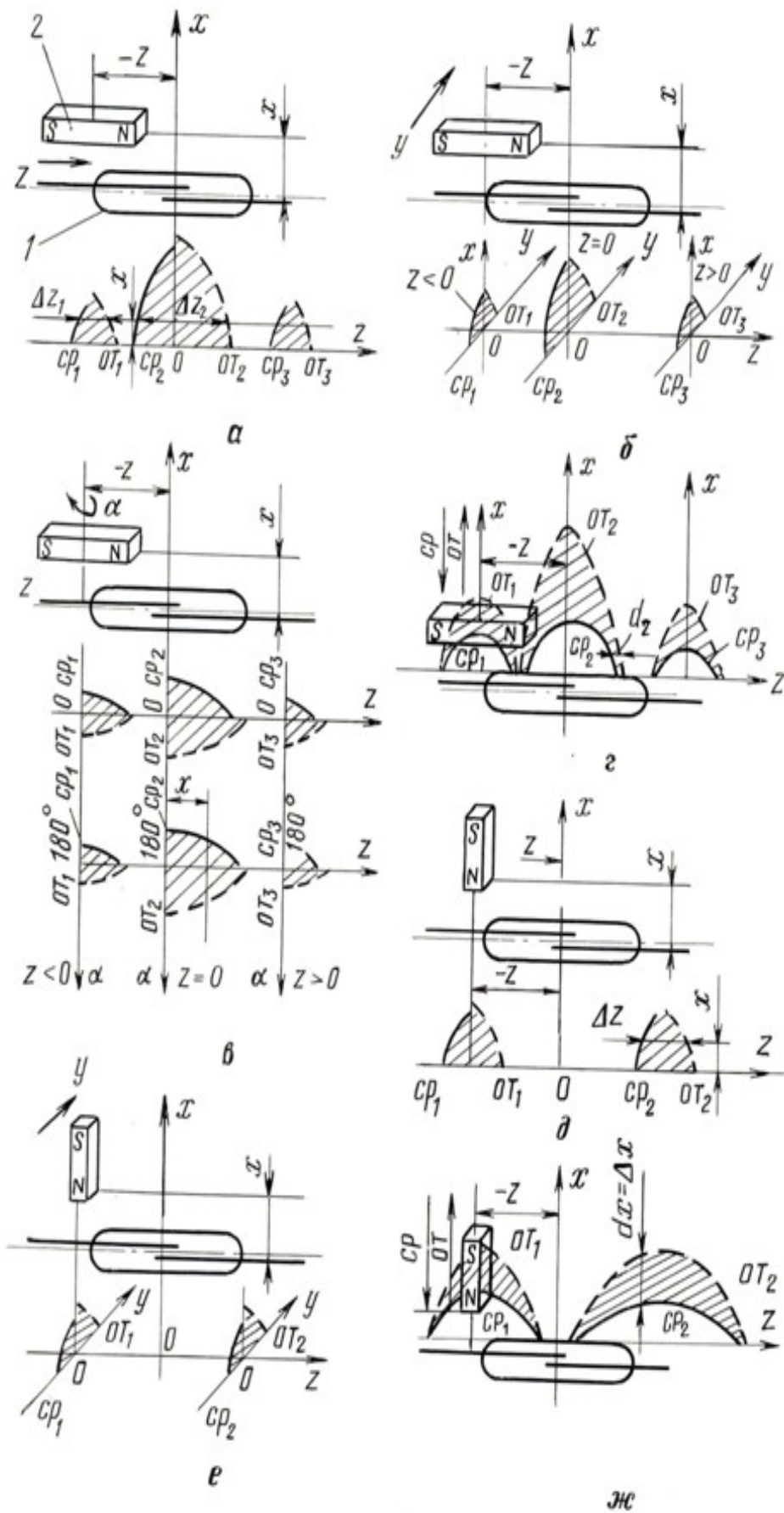


Рис. 3. Способы управления МК стержневым ПМ при параллельном (а, б, г), взаимно перпендикулярном (д, е, ж) расположениях их осей, а также при вращении ПМ вокруг поперечной оси в плоскости, параллельной продольной оси МК (в).

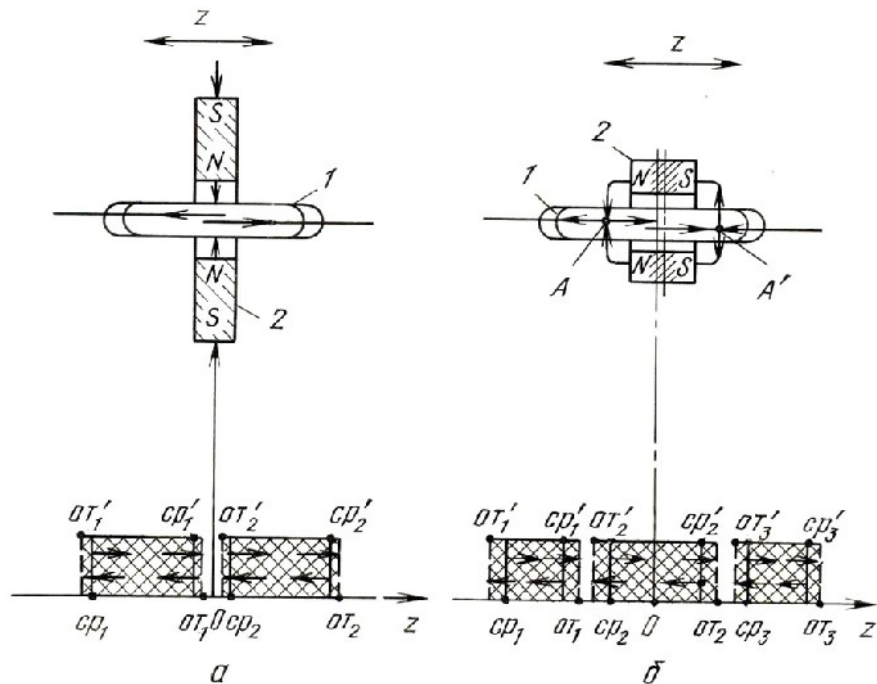


Рис. 4. Управление МК кольцевым ПМ при радиальном (а) и аксиальном (б) намагничиваниях.

1.2. Управление изменением положения магнитомягких деталей

В этом случае ПМ и МК остаются неподвижными. Основные разновидности способа:

экранирование МК от поля ПМ;

шунтирование ПМ;

изменение магнитного сопротивления участков последовательной магнитной цепи ПМ –

МК.

При управлении *экранированием* (рис. 5а) МК замкнут под действием ПМ. Введение магнитомягкого экрана между МК и ПМ уменьшает магнитный поток в МК, и последний размыкается. Для определенной последовательности включения и отключения МК экран может иметь вырезы, распределенные вдоль его длины.

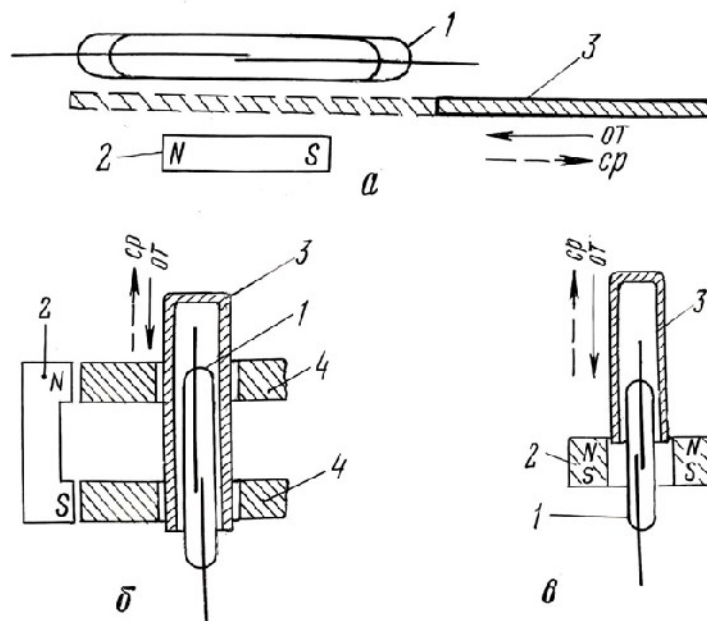


Рис. 5. Управление МК экранированием: а – пластинчатым экраном; б, в – цилиндрическим экраном; 1 – МК; 2 – ПМ; 3 – экран; 4 – потокоподвод.

Размер вырезов в направлении перемещения экрана и скорость движения последнего определяют продолжительность замкнутого состояния МК. Разность хода зависит от размеров экрана и его положения в зазоре между МК и ПМ. Применение цилиндрических экранов (рис. 5 б, в) снижает влияние посторонних внешних магнитных полей на МК в разомкнутом состоянии.

При управлении *шунтированием* (рис. 6) управляющее магнитомягкое тело, приближаясь к ПМ, уменьшает магнитное сопротивление на пути потоков рассеяния ПМ, что приводит к снижению магнитного потока в МК и размыканию последнего. Достоинство этого способа – сравнительно малые габариты ПМ (вследствие близости его к МК) и всего блока ПМ – МК. Недостатки: остаточный магнитный поток в рабочем зазоре МК вследствие неполного шунтирования ПМ, что ослабляет виброудароустойчивость аппарата в отключенном состоянии; необходимое для функционирования аппарата шунтирование часто возможно лишь при малых расстояниях между шунтом и ПМ.

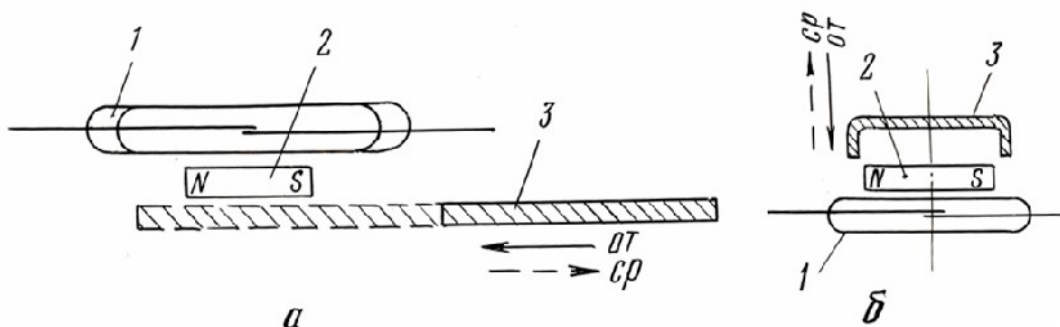


Рис.6. Управление МК шунтированием ПМ: а, б – продольное и поперечное перемещение шунта; 1 – МК; 2 – ПМ; 3 – магнитный шунт.

При управлении МК *изменением магнитного сопротивления в последовательной магнитной цепи ПМ – МК* последние неподвижны.

Когда магнитомягкий УЭ 3 (рис. 7) отсутствует, рабочий поток, пройдя от ПМ 2 и ПМ 2' через МК 1, замыкается с северного полюса ПМ 2' на южный полюс ПМ 2 по воздуху – МК разомкнут. С приближением УЭ к ПМ 2 и ПМ 2' магнитное сопротивление части воздушного участка между ПМ заменяется меньшим магнитным сопротивлением, вследствие чего уменьшается общее (суммарное) магнитное сопротивление цепи – МК замыкается. Для размыкания МК магнитомягкое тело 3 должно быть удалено от ПМ на расстояние, при котором магнитный поток в МК уменьшается до значения, не обеспечивающего удержание последнего в замкнутом состоянии. Магниты и их расположение относительно друг друга и МК выбираются такими, чтобы МК не срабатывал от поля ПМ при отсутствии УЭ.

Общий недостаток аппаратов с управлением МК за счет изменения магнитного сопротивления в последовательной магнитной цепи ПМ – МК – остаточный поток в разомкнутом МК. При таком способе необходимо применять МК с повышенным коэффициентом возврата. Остаточный магнитный поток также снижает виброудароустойчивость аппарата. Уменьшить этот поток можно, например, используя магнитный шунт 4 (рис. 7б). При отведенных в верхнее положение полюсных наконечниках 3 и 3' (двух частей УЭ) поток ПМ 2 в основном замыкается по шунтирующему контуру: полюс N – полюсный наконечник 3 – магнитный шунт 4 – полюсный наконечник 3' – полюс S – МК разомкнут.

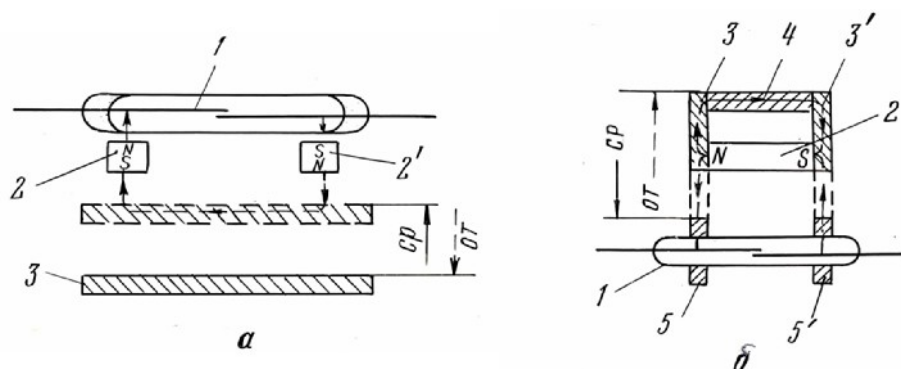


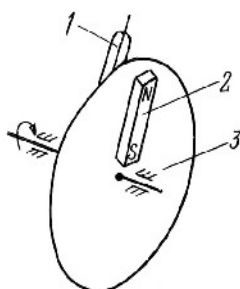
Рис. 7. Управление МК изменением магнитного сопротивления в последовательной цепи ПМ – МК:

а – взаимно перпендикулярное расположение ПМ и МК; б – параллельное расположение ПМ и МК;
1 – МК; 2, 2' – ПМ; 3, 3' – УЭ; 4 – магнитный шунт; 5, 5' – магнитомягкие шайбы.

По мере смещения полюсных наконечников 3 и 3' к МК 1 поток ПМ 2 перераспределяется – вся большая его часть ответвляется в МК вследствие увеличения магнитного сопротивления в шунтирующем контуре и уменьшения сопротивления в контуре ПМ – МК. В нижнем положении полюсных наконечников 3 и 3' они совместно с магнитомягкими шайбами 5 и 5' улучшают потокоподвод к МК, что приводит к его срабатыванию.

1.2. Управление изменением скорости подвижных электропроводящих деталей (электромагнитное экранирование)

Способ целесообразен при больших скоростях перемещения УЭ. На рис. 8 представлено реле скорости [4], в котором МК замкнут под действием поля ПМ при неподвижном (или медленно вращающемся) диске, расположенном между ПМ и МК. Диск выполнен из немагнитного материала с высокой электропроводностью. По мере нарастания скорости вращения диска индуцируемые в нем вихревые токи препятствуют прохождению поля ПМ в МК. При скорости вращения диска, соответствующей уставке реле, МК размыкается.



Используются известные зависимости магнитных свойств материалов от температуры, внешних усилий и других факторов. В качестве примеров на рис. 9 схематично показаны два термопереключателя [4].

Рис.8. Управление МК с помощью электропроводящего немагнитного экрана:
1 – МК; 2 – ПМ; 3 – электропроводящий экран.

1.4. Управление изменением магнитного состояния неподвижных деталей

В исходном состоянии (нормальная температура) МК переключателя (рис. 9а) разомкнут, так как магнитная проницаемость материала μ термочувствительного элемента высока – элемент шунтирует поток ПМ. С увеличением температуры проницаемость материала элемента падает, магнитный поток в МК возрастает и при температуре $t_{\text{ср}}$ (рис. 9в) МК замыкается. При снижении температуры до $t_{\text{от}}$ проницаемость материала элемента и его шунтирующее действие возрастают – МК размыкается.

В переключателе, изображенном на рис. 9б, при нормальной температуре МК замкнут под действием суммарного магнитного потока кольцевых ПМ, проходящего последовательно через термочувствительный элемент и МК. С увеличением температуры проницаемость материала элемента падает, суммарный поток двух ПМ уменьшается – МК размыкается.

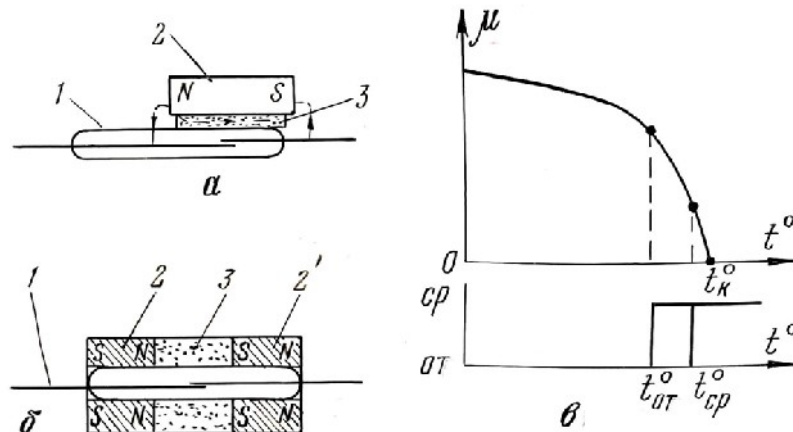


Рис. 9. Управление МК изменением магнитного состояния неподвижного УЭ: а, б – разновидности термopереключателeй; в – зависимость магнитной проницаемости материала УЭ от температуры; 1 – МК; 2, 2' – ПМ; 3 – термочувствительный элемент.

Переключатели такого типа могут применяться для контроля температуры двигателя автомобиля, в ЭВМ, холодильных установках и т.д. На основе данного принципа действия выпускаются пожарные извещатели. Время запаздывания при срабатывании этих переключателей сравнительно велико.

2. Некоторые рекомендации по конструированию герконовых командoаппаратов

2.1. Уменьшение разности хода

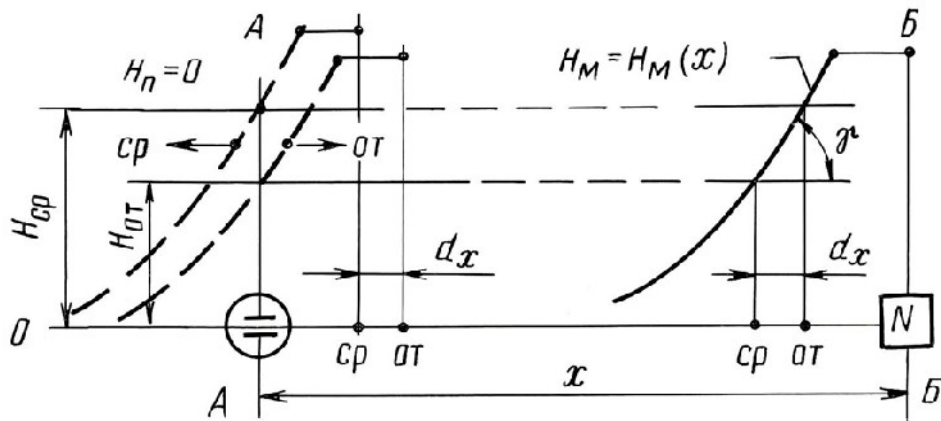
Стремление к миниатюризации переключателей (кнопочных, клавишных и т.п.) обуславливает повышенные требования к минимальной разности хода УЭ в них.

В сигнализаторах положения на МК (концевые выключатели, дистанционные дискретные датчики положения и т.п.) уменьшение разности хода сокращает зону нечувствительности аппарата к перемещению УЭ. В многоконтактных переключателях сокращение разности хода позволяет уменьшить расстояние между соседними МК, увеличить плотность их компоновки в аппарате.

На рис.10 схематично показаны:

параллельно расположенные МК и управляющий ПМ, координата x между которыми изменяется;

качественный характер изменения напряженности управляющего магнитного поля H_m в направлении координаты x .



$$d_x = (H_{сп} - H_{от}) / \operatorname{tg} \gamma ; \quad d_x = (1 - K_B) / \operatorname{tg} \gamma$$

Рис.10. Влияние на разность хода командоаппарата параметров МК и градиента управляющего магнитного поля ПМ.

При допущении линейности кривой $H_M(x)$ на участке от $x_{сп}$ до $x_{от}$ разность хода

$$d_x = (H_{сп} - H_{от}) / \operatorname{tg} \gamma.$$

Величина $\operatorname{tg} \gamma$ характеризует градиент кривой распределения управляющего поля по направлению перемещения x на участке “срабатывание – отпускание” МК с учетом масштабов по осям H_M и x . Выражение для разности хода может быть также записано в виде:

$$d_x = H_{сп}(1 - K_B) / \operatorname{tg} \gamma,$$

если $H_{от}/H_{сп}$ принять за коэффициент возврата K_B МК.

Из этих выражений следует: разность хода – функция параметров МК и характера распределения управляющего магнитного поля; она уменьшается с увеличением коэффициента возврата МК и с увеличением градиента кривой $H_M(x)$.

Значения и характер распределения магнитного поля при управлении МК подвижным ПМ определяются геометрическими размерами ПМ и запасенной им магнитной энергией, а также взаимным расположением ПМ и МК. Более короткие ПМ имеют больший градиент, что обуславливает малые значения разности хода при управлении МК такими ПМ. С этой целью для ПМ рекомендуются материалы с наиболее высокой запасаемой энергией.

Большие градиенты поля получаются вблизи его особых точек, в которых напряженность равна нулю [3]. Для этого используют противоположно направленные поля, созданные комбинацией нескольких ПМ или ПМ и обмотки. Примерами могут служить схемы конструкций кнопки (рис. 11а) и многоцепного переключателя (рис. 11б) [1, 4, 5].

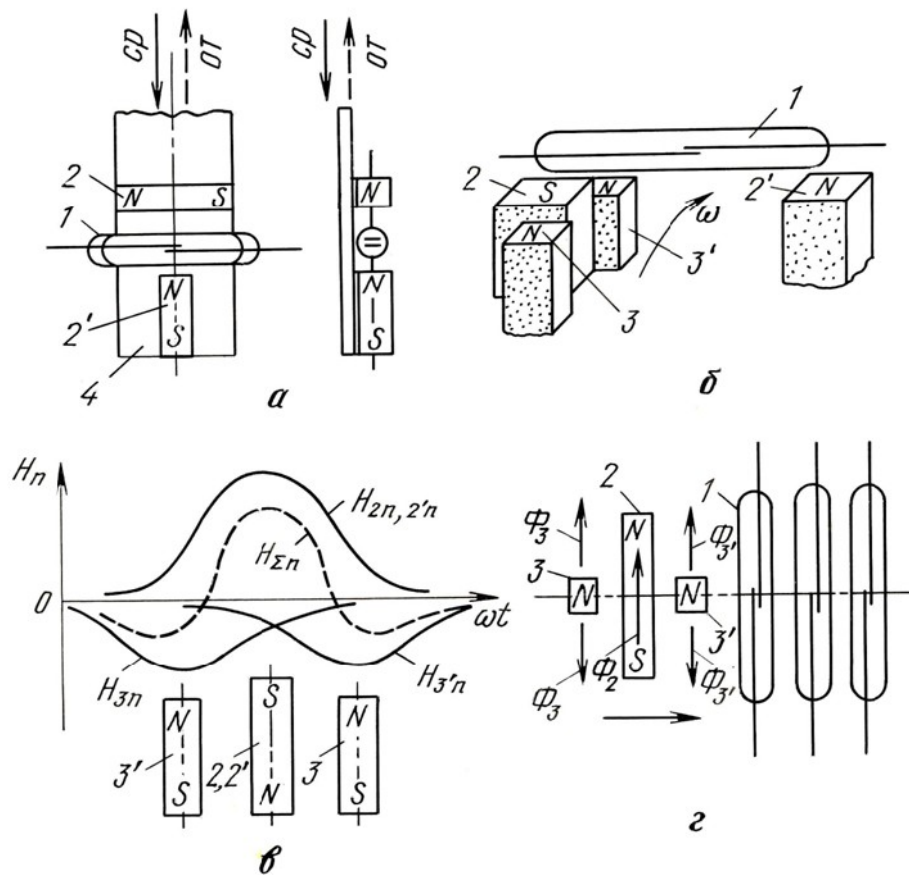


Рис. 11. Управление МК группой ПМ: а – в кнопке; б, г – в многоцепном переключателе; в – кривые распределения во времени нормальных составляющих напряженности поля отдельных ПМ и суммы этих составляющих (см. рис. 11б); 1–МК; 2, 2' – основные ПМ; 3, 3' – дополнительные ПМ; 4 – траверса.

В конструкции рис. 11б при прохождении под МК 1 основных ПМ 2 и 2' он срабатывает. По обе стороны ПМ 2 расположены дополнительные ПМ 3 и 3' противоположной полярности по отношению к ПМ 2. Наложение нормальных составляющих полей H_{3n} и $H_{3'n}$ (рис. 11в) дополнительных ПМ на нормальную составляющую поля $H_{2n,2'n}$ основных ПМ приводит к увеличению градиента поля при перемещении УЭ, что позволяет ближе расположить МК друг к другу в переключателе с исключением одновременного нахождения нескольких МК в замкнутом состоянии. Однако на кривой распределения суммарного поля $H_{\Sigma n}$ (рис. 11в) имеются два «отрицательных» участка с максимумами вблизи полюсов ПМ 3 и 3', что при высокочувствительных МК делает возможным ложные срабатывания. Этот недостаток устраняется тем, что в переключателе МК 1 замыкаются от потока Φ_2 основного ПМ 2 (рис. 11г). Дополнительные ПМ 3 и 3' установлены под перекрытиями контактных срединков (КС) МК осью намагничивания перпендикулярно продольным осям последних – ложные срабатывания отсутствуют. Поток Φ_3 или $\Phi_{3'}$ в зависимости от направления перемещения соответственно от ПМ 3 и 3', разветвляясь по КС размыкаемого МК, способствуют их более энергичному расхождению.

К снижению разности хода ведет увеличение отрицательного подмагничивания [1]. В случаях, когда необходимо обеспечить малую разность хода в сочетании с большой координатой срабатывания, целесообразно применять импульсное подмагничивание [1].

2.2. Сокращение зоны замкнутого состояния геркона

Как было показано выше, при управлении ПМ, перемещающимся после срабатывания МК для его отпускания в обратном направлении, $|\Delta y| = d_y$ (см. рис. 1а), а при управлении ПМ, перемещающимся после срабатывания МК для его отпускания в том же направлении, $|\Delta y| = 2|y_{cp}| + |d_y|$ (см. рис. 1б). Очевидно, что в обоих видах управления Δy можно сократить рассмотренными способами, уменьшающими разность хода d_y . Сокращение Δy при втором виде управления достигается и уменьшением u_{cp} . В приемлемых случаях это реализуется использованием МК с большими МДС срабатывания при минимально допустимых габаритах ПМ.

Для сокращения Δy МК, управляемых подвижными ПМ (например, в многоцепных переключателях), между МК размещают также детали из магнитомягкого материала – шунты [1, 5]. На рис. 12 схематично показан один из таких переключателей. В нем относительно МК, расположенных в ряд, перемещаются ПМ. Между МК размещены шунты. При расположении ПМ напротив одного из шунтов, последний замыкает основную часть потока ПМ на себя, а соседние МК оказываются в разомкнутом состоянии, так как поток в них от ПМ недостаточен для удержания в замкнутом состоянии предыдущего по ходу МК и для срабатывания последующего. Недостаток этого способа – усложнение и утяжеление конструкции, снижение контактного нажатия в МК из-за уменьшения в них магнитного потока (последнее может привести к необходимости увеличения габаритов ПМ или использованию другого магнитотвердого материала).

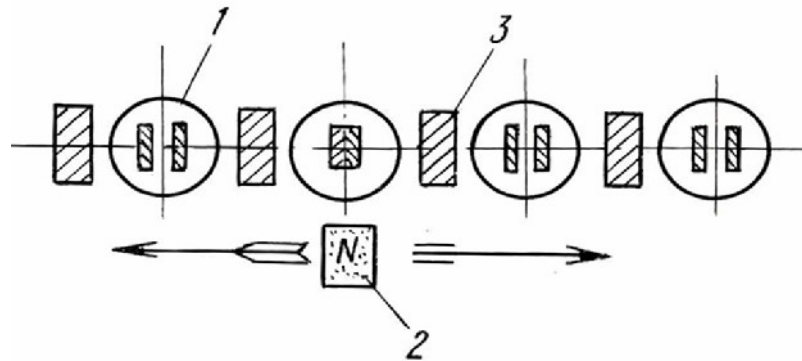


Рис. 12. Сокращение зоны замкнутого состояния МК с помощью магнитных шунтов: 1 – МК; 2 – ПМ; 3 – шунт.

В ряде случаев управления МК предпочтительно использовать магнитное поле, распределение которого по координате перемещения имеет вид узкого “пространственного импульса” (см., например, рис. 11в). С этой целью могут быть применены и другие технические решения, например, иллюстрируемое на рис. 13а.

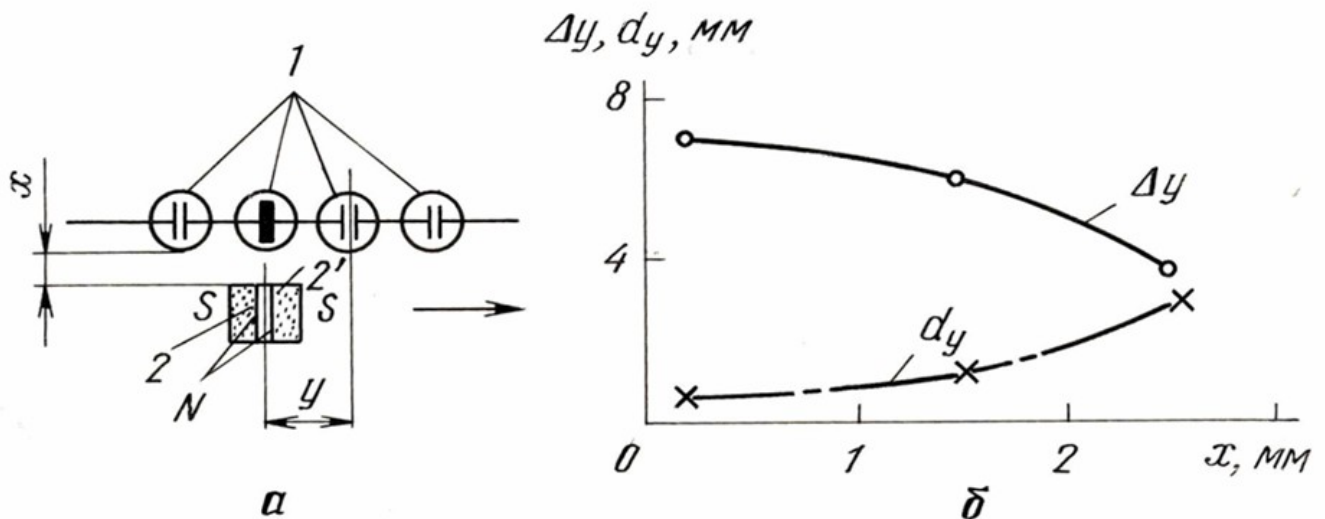
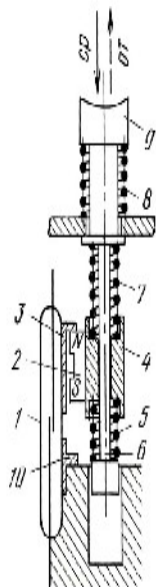


Рис. 13. Сокращение зоны замкнутого состояния МК формированием узкого “пространственного импульса” управляющего магнитного поля: а – пример конструктивной схемы; б – зависимости зоны замкнутого состояния и разности хода от удаления системы магнитов от МК; 1 – К; 2 – ПМ.

Для управления МК применены два ПМ, обращенные друг к другу одноименными полюсами N. Магниты смещены от области перекрытия КС вдоль одного из них [4]. Кривая распределения управляющего поля по направлению перемещения имеет вид, аналогичный кривой $H_{\Sigma n}$ на рис. 11в. При этом положительный максимум поля приходится примерно на середину промежутка между полюсами S, а его отрицательные максимумы располагаются вблизи полюсов S. С увеличением расстояния x между МК и ПМ разность хода d_y возрастает, а зона замкнутого состояния Δy уменьшается (рис. 13б).

2.3. Реализация скачкообразного перемещения управляющего элемента

Такое перемещение целесообразно применять, например, в кнопочных переключателях и тумблерах с двумя целями: создание резкого изменения сопротивления усилию оператора для обеспечения ощущения произведенного переключения; обеспечение независимости скорости перемещения управляющего элемента от индивидуальных качеств оператора – для реализации оптимальных скоростей коммутации, определенных при проектировании.



В кнопке, изображенной на рис. 14 [6], в исходном состоянии МК 1 разомкнут, ПМ 2, укрепленный на втулке 4, притянут к верхнему магнитопроводу 3, одновременно экранирующему МК от ПМ. Втулки 4 с одной стороны касается пружина 5, опирающаяся на нижний выступ штока 6, с другой стороны – пружина 7. Пружина 8 отжимает кнопку 9 вместе со стоком вверх.

При нажатии на кнопку 9 вначале сжимается пружина 8, а затем и пружина 7. Отрыв ПМ 2 от магнитопровода 3 происходит при надавливании верхней части штока 6 на втулку 4. Под действием разжимающейся пружины 7 втулка 4 с ПМ 2 быстро опускается. ПМ 2 своим полем замыкает МК 1 и притягивается к нижнему магнитопроводу 10.

Рис. 14. Управление МК скачкообразно перемещающимся ПМ с использованием его сил взаимодействия с деталями из магнитомягких материалов.

При отпускании кнопки 9 шток 6 вследствие разжимающейся пружины 8 перемещается вверх, сжимая пружину 5. В момент касания нижнего выступа штока 6 втулки 4 происходит отрыв ПМ 2 от магнитопровода 10 и его быстрое движение вверх под действием пружины 5 – МК 1 размыкается.

2.4. Повышение виброудароустойчивости и электрической прочности

Виброудароустойчивость отдельно взятого замыкающего МК зависит от его конструктивных параметров (в том числе от размеров КС), материала КС и расположения МК относительно направления действия вибрационных (ударных) нагрузок.

Однако при установке МК в магнитную систему аппарата указанные характеристики могут существенно отличаться от паспортных. В частности, это происходит вследствие изменения (уменьшения) одного из основных его конструктивных параметров – начального рабочего зазора δ_n [1] под действием остаточного потока от ПМ в магнитной цепи выключенного аппарата. Основные способы уменьшения этого потока в переключателях на МК – создание в выключенном состоянии в центре рабочего зазора особой точки поля [3] (характеризуемой нулевым значением напряженности) и повышение эффективности экранирования МК или шунтирования потока ПМ в состоянии «выключено».

В качестве примера на рис. 15 схематично показан путевой переключатель [1, 4], содержащий МК и два кольцевых ПМ, размещенных на МК симметрично по обе стороны от перекрытия его КС.

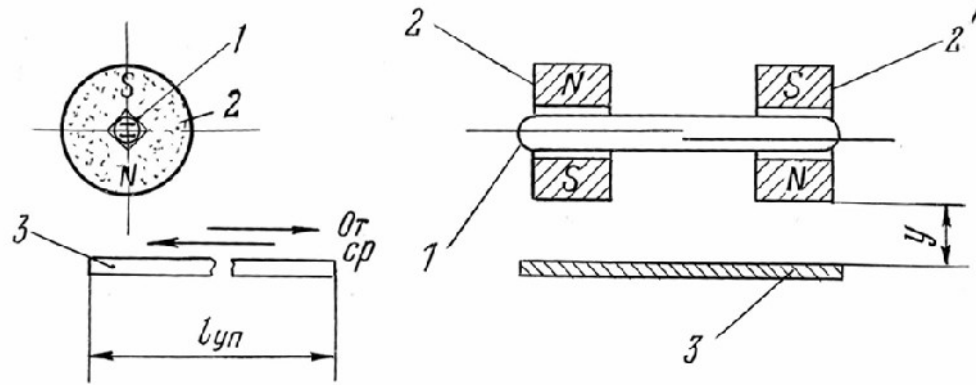


Рис. 15. Путьевой переключатель с нулевым значением магнитного потока между КС при отсутствии управляющего элемента: 1 – МК; 2,2' – ПМ; 3 – пластина из магнитомягкого материала.

Магниты намагничены по диаметру и ориентированы одноименными полюсами в противоположные стороны. Переключатель управляется ферромагнитной пластиной из магнитомягкого материала. При ее отсутствии ($y \rightarrow \infty$) в рабочем зазоре МК образуется особая точка поля и МК разомкнут [3]. Приближение пластины к разноименным полюсам ПМ меняет их магнитное поле. Особая точка перемещается из области рабочего зазора, в котором между внутренними концами КС начинает протекать магнитный поток, вызывающий срабатывание МК.

В переключателях с управлением МК полем подвижных ПМ может быть достигнута виброудароустойчивость, превышающая в отключенном состоянии виброудароустойчивость примененных МК. Так, для размыкания МК 1 (рис. 16 а) ПМ 2 из положения I, соответствующего включенному состоянию аппарата, переводится в положение II, при котором КС 3 и 3' расходятся, чему способствует либо преобладание силы притяжения КС 3 к ПМ над силой притяжения к нему КС 3' вследствие различия их расстояний до полюса N магнита, либо образование одинаковых одноименных магнитных полюсов S' на перекрывающихся концах КС.

Для повышения виброудароустойчивости МК в разомкнутом состоянии целесообразно применение радиально намагниченных кольцевых ПМ (см. рис.16 а), а также полезно применение последовательно соединенных МК, расположенных рядом так (рис.16 б), что плоскости их КС взаимно перпендикулярны. Поскольку устойчивость большинства типов язычковых МК к вибрационным и ударным нагрузкам, направленным в плоскости КС, выше устойчивости к нагрузкам, действующим в сторону изменения рабочего зазора, то появление внешней вибрации, например, по оси II – II, может привести к замыканию лишь МК 1, а МК 5 останется в разомкнутом состоянии, и напряжение на нагрузку подано не будет.

С помощью специального расположения управляющих магнитов можно создать переключатель, в котором достигается существенное увеличение начального рабочего зазора МК по сравнению с его номинальным значением (вне аппарата), повышается виброудароустойчивость и электрическая прочность, снижается вероятность отказов из-за залипания КС. На рис.17 приведена магнитная система такого переключателя [1, 4], и качественно показано распределение основных магнитных потоков в положениях ОТПУСТИЛ (рис.17 а) и СРАБОТАЛ (рис.17 б).

Переключатель работает следующим образом. В положении ОТПУСТИЛ (рис.17 а) большая часть потока каждого ПМ ответвляется в ближе расположенный к этому ПМ контактный сердечник. Для ПМ 3 это поток Φ'_1 , а для ПМ 4 – поток Φ'_2 . В результате образуются «растягивающие» силы $P_{эм-}$, увеличивающие зазор δ до значения, существенно превосходящего начальный зазор. Поток в рабочем зазоре от одного КС к другому – небольшой, и сила притяжения $P_{эм+}$ между ними мала. Для срабатывания аппарата одновременно смещают ПМ 4 вправо, а ПМ 3 влево (рис.17 б). Перекрывание КС оказывается в зоне действия совпадающих по направлению потоков от обоих ПМ (Φ''_1 и Φ''_2). Между КС возрастает сила их электромагнитного притяжения $P_{эм+}$, обусловленная суммой потоков Φ''_1 и Φ''_2 в рабочем зазоре МК. Одновременно со смещением ПМ «растягивающая» сила $P_{эм-}$, приведенная к центру перекрывания КС и направленная противоположно силе $P_{эм+}$, уменьшается.

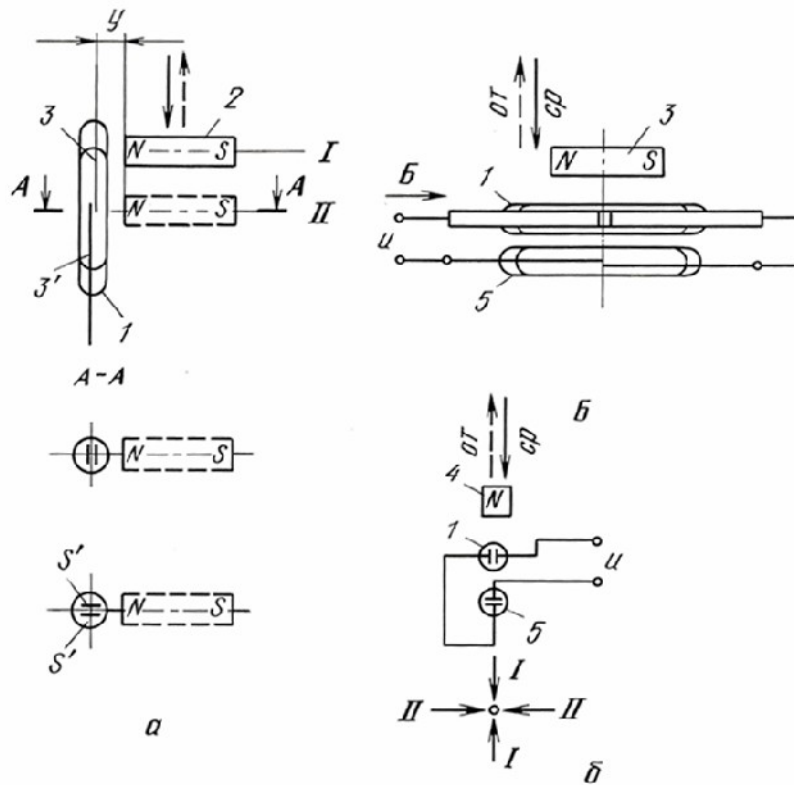


Рис. 16. Повышение виброудароустойчивости МК в разомкнутом состоянии за счет взаимного расположения ПМ и одного МК (а) и за счет взаимного расположения двух последовательно включенных МК (б): 1,5 – МК; 2,4 – ПМ; 3,3' – КС.

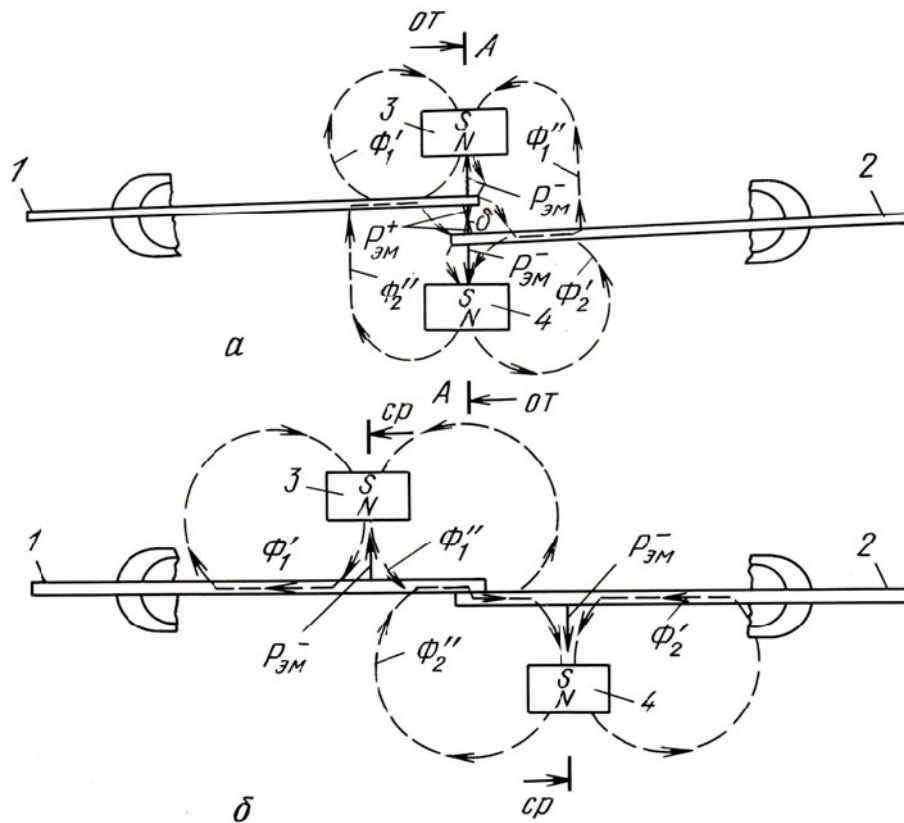


Рис. 17. Управление МК двумя ПМ, одновременно перемещаемыми в противоположных направлениях: а, б – положения ОТПУСТИЛ – СРАБОТАЛ; 1,2 – КС; 3,4 – ПМ.

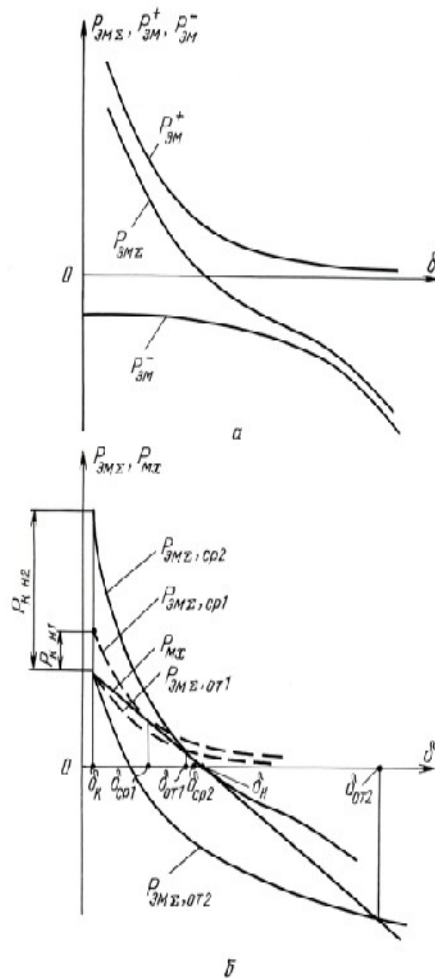


Рис. 18. Тяговые (а, б) и механическая (б) характеристики переключателя на МК с управлением двумя подвижными ПМ.

Совместное действие сил $P_{\Sigma+}$ и $P_{\Sigma-}$ приводит к тому, что суммарная тяговая характеристика $P_{\Sigma}(\delta) = P_{\Sigma+}(\delta) + P_{\Sigma-}(\delta)$ меняет знак и приобретает большую крутизну во всем диапазоне зазоров δ (рис.18 а), чем при управлении МК одиночным ПМ. Касание более крутой тяговой характеристики МК в рассматриваемом переключателе в момент срабатывания ($P_{\Sigma\Sigma_{cp2}}(\delta)$) механической характеристики $P_{MX}(\delta)$ и само срабатывание происходит при зазоре δ_{cp2} , существенно превосходящем зазор срабатывания δ_{cp1} МК, управляемого одиночным ПМ и имеющим более пологую тяговую характеристику (штриховая кривая $P_{\Sigma\Sigma_{cp1}}(\delta)$ на рис.18 б).

Для отпускания МК оба ПМ возвращаются в исходное состояние (рис.18 а). Тяговая характеристика при отпуске $P_{\Sigma\Sigma_{от2}}(\delta)$ с расхождением КС от положения $\delta = \delta_k$ меняет знак (рис.18 б) и пересекает характеристику $P_{MX}(\delta)$ при зазоре $\delta_{от2}$, значительно большем, чем это имеет место при отпуске МК в переключателе с одним ПМ ($\delta_{от2} > \delta_{от1}$). Большой зазор между КС повышает виброудароустойчивость переключателя в отключенном состоянии. Расхождение КС происходит с большей скоростью, что облегчает процесс восстановления межконтактной электрической прочности. Более резкое изменение электромагнитной силы в зазоре МК от перемещения ПМ обеспечивает в переключателе меньшую разность хода по сравнению с переключателем с одним ПМ.

Литература

1. Шоффа В.Н. Герконы и герконовые аппараты. Справочник. – М.: Изд-во МЭИ, 1993.
2. Архипов Ю.И., Дмитриев Д.И., Шоффа В.Н. Обобщенные характеристики управления герконов постоянными магнитами – Тр/Моск. энергетический институт. Электромеханика, 1967, вып.71, ч.2.
3. Анализ полей магнитных систем электрических аппаратов. В.Н. Шоффа / Под ред. Г.Г. Нестерова. – М.: Изд-во МЭИ, 1994.
4. Шоффа В.Н., Чингишев А.А. Магнитоуправляемые контакты в автоматике и связи. – Ф.: «Кыргызстан», 1991.

5. Буль Б.К., Шоффа В.Н., Шибанов В.К. Аппараты управления на магнитоуправляемых контактах. Информэлектро. ТС – 7. Аппараты низкого напряжения, 1977.
6. Харазов К.И. Переключатели с магнитоуправляемыми контактами. М.: Энергия, 1978.