

УДК 621.318.56

ББК 31.264.3

Е.Г. ВАСИЛЬЕВ, И.П. ИВАНОВ, О.Н. МИТРОФАНОВ,
Д.В. САМУИЛОВ, Г.П. СВИНЦОВ**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ДВУХПОЗИЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ
С МЕХАНИЧЕСКОЙ БЛОКИРОВКОЙ**

Ключевые слова: двухпозиционные реле, реле с механической блокировкой, конструкция, кинематическая схема, клапанные электромагниты, проектирование, усовершенствованный метод расчета магнитной системы по участкам.

Двухпозиционные реле широко применяются в технике как общего, так и специального назначения. Такие реле подразделяются по принципу построения конструкции на две группы: реле двухпозиционные электромагнитные поляризованные и реле двухпозиционные электромагнитные с механической блокировкой.

В технической литературе сведения по проектированию реле второй группы практически отсутствуют. В настоящей статье освещаются общие вопросы их проектирования на примере сильноточных реле серии ДП-1 на номинальные токи от 25 до 100 А, которые длительное время применяются в автономных системах электроснабжения техники специального назначения. Приведены описания отличительных особенностей конструкции реле и принципа ее работы. Рассмотрены кинематические схемы основного механизма электромагнитной и контактной систем. Показан пример построения противодействующей характеристики реле. Приведены схема замещения для расчета магнитной системы по усовершенствованному методу участков и допущения, характерные для данной конструкции реле.

Двухпозиционные реле широко применяются в технике как общего, так и специального назначения благодаря ряду их достоинств: это, в первую очередь, обеспечение рабочих положений без энергопотребления и высокая надежность работы при жестких параметрах внешних воздействующих факторов (температуры, радиации, механических воздействий). Такие реле подразделяются по принципу построения конструкции на две группы, которые существенно различаются по методикам проектирования: реле двухпозиционные электромагнитные поляризованные, в которых устойчивые положения обеспечиваются с помощью постоянного магнита, и реле двухпозиционные электромагнитные с механической блокировкой (РМБ). Двухпозиционные реле часто применяются для переключения цепей двух нагрузок при одном источнике питания или для переключения одной нагрузки на разные источники питания. Поэтому их иногда называют дистанционными переключателями.

Если общие вопросы проектирования реле первой группы достаточно подробно рассмотрены в технической литературе, например в [2–4], то сведения по проектированию реле второй группы практически отсутствуют. Также в связи с увеличением энергоемкости и усложнением функциональных возможностей современных энергосистем выдвигаются новые требования к применяемой в них элементной базе (реле и т.п.) в части увеличения номинальных токов, расширения исполнений по состоянию и количеству выходных цепей, оснащению дополнительными функциональными модулями

и т.п., что, в свою очередь, требует решения ряда вопросов по оптимальному их проектированию (оптимизации по массе, быстродействию, мощности управления, надежности и т.п.).

Характерными типопредставителями РМБ являются сильноточные реле (переключатели) на номинальные токи от 25 до 100 А, которые длительное время применяются в автономных системах электроснабжения техники специального назначения (рис. 1).

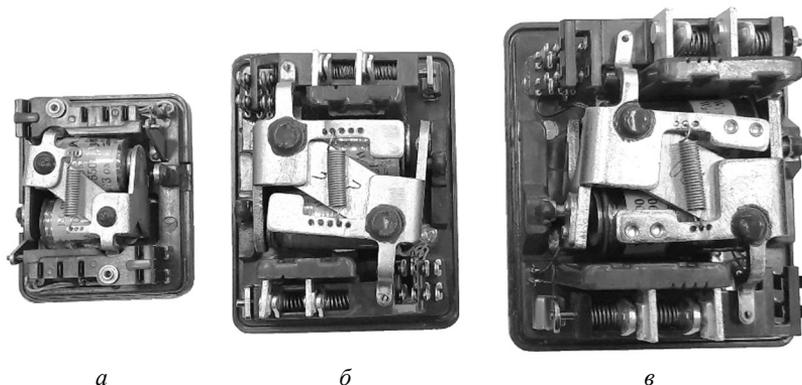


Рис. 1. Двухпозиционные реле (переключатели) с механической блокировкой серии ДП-1 на номинальные токи 25 А (а), 50 А (б) и 100 А (в)

Такие реле имеют оригинальную конструкцию, представляющую собой два релейных элемента в одном корпусе, подвижные части которых (якоря) связаны с узлом механической блокировки, фиксирующим их взаимно в двух устойчивых (крайних) положениях. Упрощенный эскиз электромагнитной и контактной систем реле представлен на рис. 2. Каждый релейный элемент (составное реле) состоит из электромагнита клапанного типа и контактной системы 5 с мостиковыми контактами. В состав электромагнита входят якорь 1, сердечник 2, магнитопровод 3 и обмотка 4.

Отличительной особенностью электромагнита таких реле является выполнение магнитопровода 3 в виде замкнутого прямоугольного контура, охватывающего систему с боковых сторон и являющегося общим для обоих составных реле. Кроме того, единым элементом для составных реле является возвратная пружина, установленная между хвостовиками якорей (на рис. 2 не показана), что обеспечивает минимальную противодействующую силу в начале движения якоря. Такая конструкция также обеспечивает минимальную мощность управления и максимальную начальную механическую силу, увеличивающую быстродействие второго составного реле.

Особенности конструкции, порядка работы и проектирования РМБ удобно рассмотреть на основе кинематической схемы реле (рис. 3), которая представлена в виде схемы основного механизма электромагнитной и контактной систем (а) и схемы узла блокировки этого основного механизма в двух устойчивых положениях (б).

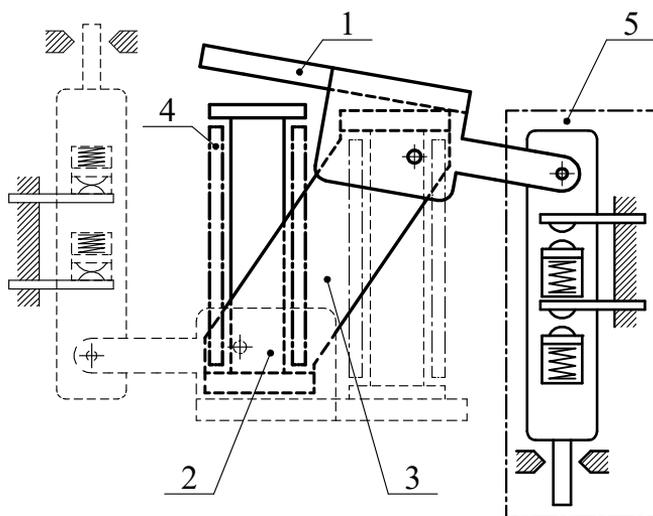


Рис. 2. Упрощенный эскиз электромагнитной и контактной систем реле (жирными линиями обозначены контуры элементов одной из двух составных частей реле):
 1 – яркорь; 2 – сердечник; 3 – магнитопровод; 4 – обмотка;
 5 – контактная система главной цепи

В положении механизма, указанном на рис. 3, *а*, ведущее звено 1 (якорь) первого составного реле фиксируется в одной из позиций за счет рычага этого реле, жестко связанного с якорем, и рычага 6 второго составного реле, которые входят в состав механизма блокировки (рис. 3, *б*). При этом якорь 2 второго составного реле поджимается к его полюсу 3. В процессе движения якоря 1 при подаче напряжения управления на обмотку первого реле ролик скользящей пары 7, который выполнен в виде оси, установленной на двух подшипниках на конце рычага 5, прокатывается практически без трения по боковой поверхности А рычага 6. В конце движения ролик 7 выходит из зацепления с поверхностью А в момент притяжения якоря первого составного реле. Величина расстояния $S_{\text{бл}}$, на котором пара находится в зацеплении, определяется по кинематической схеме с учетом длин плеч рычагов 5 и 6, длин плеч приложений электромагнитной силы $P_{\text{ЭМ}}$, хода якоря δ_r и диаметра оси ролика. Например, при равенстве длин плеч справедливо $S_{\text{бл}} \approx \delta_r$. После притяжения якоря 1 ролик 7 входит в зацепление с поверхностью Б рычага 6, и под действием силы $P_{\text{В}}$ возвратной пружины 4 якорь 2 переходит в другое устойчивое положение – это разомкнутое состояние второго реле, а якорь 1 первого составного реле механически фиксируется (без напряжения на своей обмотке) в положении, притянутом к полюсу электромагнита. Аналогично реле возвращается в исходное состояние, приведенное на рис. 3, *а*, при кратковременной подаче напряжения на обмотку второго составного реле. Таким образом осуществляется переключение реле из одного устойчивого положения в другое.

Используя кинематическую схему, можно построить противодействующую характеристику реле и выполнить уравнивание его подвижных частей.

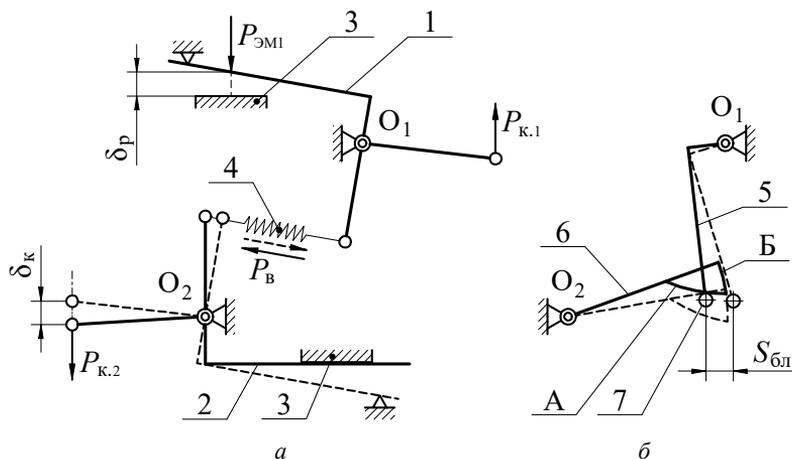
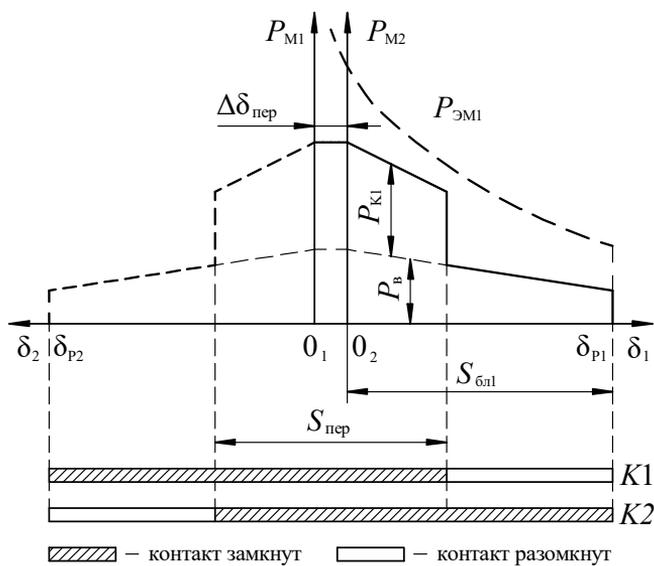


Рис. 3. Кинематическая схема основного механизма электромагнитной и контактной систем реле (а) и узла блокировки основного механизма в двух устойчивых положениях (б):

- 1 – ведущее звено (якорь, траверса и т.п.) первого реле;
- 2 – ведущее звено второго реле; 3 – полюсы электромагнитов;
- 4 – возвратная пружина; 5, 6 – рычаги узла блокировки;
- 7 – ролик скользящей пары

Особенностью РМБ является последовательная работа двух его составных реле, определяющая порядок включения и отключения их главных контактов. На рис. 4 представлено согласование противодействующих сил составных реле без учета сил контактного нажатия вспомогательных контактов.



▨ – контакт замкнут □ – контакт разомкнут

Рис. 4. Согласование противодействующих характеристик

При уменьшении зазора δ_r первого составного реле до значения $\delta_1 = \delta_{p1} - S_{бл1} = \Delta\delta_{пер}$ начинается движение якоря второго составного реле. Процесс перехода движений определяется величиной $\Delta\delta_{пер}$, которая зависит от технических разбросов регулировки узла блокировки и должна быть не менее нескольких десятков миллиметров с целью исключения заклинивания механизма в целом. На величину $\Delta\delta_{пер}$ уменьшается провал главных контактов, что следует учесть при проектировании контактных систем реле. По протяженности перекрытия $S_{пер}$ замкнутого состояния главных контактов составных реле можно определить время перекрытия, величина которого, как правило, устанавливается в технических требованиях на разработку исходя из условий применения реле.

Уравновешивание механизма выполняется при построении 3D-модели реле с учетом размещения центра масс подвижных частей на оси вращения и обеспечения равенства моментов сил относительно этой оси.

С учетом того, что конструкции составных реле одинаковы, вопросы проектирования магнитной системы достаточно рассмотреть для одного из них (рис. 5, а). Такая система близка по конструкции к клапанной магнитной системе, для расчета которых широко применяются классические методы теории цепей (например, [5]). Для рассматриваемой системы удобно и наглядно применение наиболее распространенного из них – метода расчета по участкам. На рис. 5, б изображена схема замещения, являющаяся основной для расчетов по этому методу, где обозначены: $R_{\delta i}$ – магнитные сопротивления воздушных зазоров ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$ и δ_r); R_{ci} и R_{mi} – магнитные сопротивления сердечника и магнитопровода отдельных участков (I, II и III), соответственно; R_{si} – магнитные сопротивления потоков рассеяния; $\Phi_{\delta}, \Phi_{it}, \Phi_s$ – магнитные потоки в рабочем зазоре, на участках сердечника (магнитопровода) и рассеяния, соответственно.

Порядок расчета по базовому методу подробно изложен в [5], а по усовершенствованному методу – в [1]. При расчетах рассматриваемой магнитной системы необходимо учесть следующие примечания, характеризующие особенности их конструкций:

– $2R_{\delta 3} \ll R_{\delta 2}$, что обусловлено, в первую очередь, наличием у основания якоря технологического паза, следовательно, можно пренебречь потоками в зазоре δ_2 , поэтому тяговая сила $P_{ЭМ}$ создается в основном в зазоре δ_1 ;

– $R_r \ll R_{\delta 3}$, следовательно, поток Φ_0 замыкается только через магнитопровод 3, минуя сердечник и якорь второго составного реле, т.е. практически отсутствует магнитная связь между системами составных реле;

– сопротивлением R_{S44} на участке 3 можно пренебречь, так как этот участок значительно удален от сердечника, а сопротивление R_{S33} принять равным $R_{S33'} = 0,5R_{S22}$.

В результате расчетов определяется магнитодвижущая сила (МДС) обмотки при заданном магнитном потоке на любом участке магнитной системы или находится поток, например, в рабочем зазоре при заданном значении МДС.

Таким образом, с учетом характерных отличий конструкций двухпозиционного реле с механической блокировкой разрабатывается его 3D-модель и рассчитываются конструктивные параметры контактной и магнитной систем. Рассмотренные особенности проектирования использованы и верифицированы при разработке в ОАО «ВНИИР-Прогресс» (г. Чебоксары) новой серии РМБ на номинальные токи до 200 А, предназначенные для перспективных объектов специальной техники.

Литература

1. Васильев Е.Г., Иванов И.П., Самуилов Д.В., Свинцов Г.П. Обобщенные электромагнитные характеристики клапанных электромагнитов модульных контакторов // Вестник Чувашского университета. 2018. № 3. С. 33–43.
2. Гордон А.В., Сливинская А.Г. Поляризованные электромагниты. М.; Л.: Энергия, 1964. 120 с.
3. Иванов И.П., Сагарадзе Е.В., Свинцов Г.П. Вопросы общей теории и практики проектирования поляризованных электромагнитов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2017. № 2. С. 44–50.
4. Ройзен В.З. Малогабаритные поляризованные реле и дистанционные переключатели. Л.: Энергия, 1969. 128 с.
5. Шоффа В.Н. Методы расчета магнитных систем постоянного тока. М.: Изд-во МЭИ, 1998. 40 с.

ВАСИЛЬЕВ ЕВГЕНИЙ ГЕОРГИЕВИЧ – аспирант кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (veg@vniir.ru).

ИВАНОВ ИВАН ПЕТРОВИЧ – кандидат технических наук, главный научный сотрудник, ОАО «ВНИИР-Прогресс», Россия, Чебоксары (ipivanov@vniir.ru).

МИТРОФАНОВ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ – аспирант кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (omitrofanov@vniir.ru).

САМУИЛОВ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – аспирант кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (dsamuilov@vniir.ru).

СВИНЦОВ ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ – доктор технических наук, профессор кафедры электрических и электронных аппаратов, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (eea_chuvsu@mail.ru).

Evgeniy G. VASILYEV, Ivan P. IVANOV, Oleg N. MITROFANOV,
Dmitriy V. SAMUILOV, Gennadiy P. SVINTSOV

FEATURES OF DESIGNING OF BISTABLE ELECTROMAGNETIC LATCHING RELAYS

Key words: bistable relays, latching relays, construction, kinematic scheme, valve electromagnets, designing, improved method of calculation of magnetic system for sections.

Bistable relays are widely used in both general and special purpose engineering. Such relays are subdivided according to the construction principle into two groups: bistable electromagnetic polarized relays and bistable electromagnetic latching relays.

In the technical literature, there is practically no information on the design of the relay of the second group. This article highlights general issues of their design using the example of high-current relays of the DP-1 series for rated currents from 25 to 100 A, which have been used for a long time in autonomous power supply systems for military equipment.

The descriptions of the distinctive features of the relay construction and the principle of its operation are given. The kinematic schemes of the main mechanism of the electromagnetic and contact systems are considered. The example of constructing the opposing characteristics of the relay is shown. The paper provides the replacement scheme for calculating of magnetic system on improved method of sections and assumptions, characteristic of the given relay construction.

References

1. Vasil'ev E.G., Ivanov I.P., Samuilov D.V., Svintsov G.P. *Obobshchennye elektromagnitnye kharakteristiki klapannykh elektromagnitov modul'nykh kontaktorov* [Generalized electromagnetic characteristics of valve electromagnets of modular contactors]. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*, 2018, no. 3, pp. 33–43.
2. Gordon A.V., Slivinskaya A.G. *Polyarizovannye elektromagnity* [Polarized electromagnets]. Moscow, Leningrad, Energiya Publ., 1964, 120 p.
3. Ivanov I.P., Sagaradze E.V., Svintsov G.P. *Voprosy obshchei teorii i praktiki proektirovaniya polyarizovannykh elektromagnitov* [Questions of the general theory and practice of designing polarized electromagnets]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Elektromekhanika*, 2017, no. 2, pp. 44–50.
4. Roizen V.Z. *Malogabaritnye polyarizovannye rele i distantsionnye pereklyuchateli* [Small size polarized relays and remote switches]. Leningrad, Energiya Publ., 1969, 128 p.
5. Shoffa V.N. *Metody rascheta magnitnykh sistem postoyannogo toka* [Methods for calculating the magnetic systems of direct current]. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 1998, 40 p.

EVGENIY G. VASILYEV – Post-Graduate Student of Electric and Electronic Apparatus Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (veg@vniir.ru).

IVAN P. IVANOV – Candidate of Technical Sciences, Chief Researcher, JSC «VNIIR Progress», Russia, Cheboksary (ipivanov@vniir.ru).

OLEG N. MITROFANOV – Post-Graduate Student of Electric and Electronic Apparatus Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (omitrofanov@vniir.ru).

DMITRIY V. SAMUILOV – Post-Graduate Student of Electric and Electronic Apparatus Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (dsamuilov@vniir.ru).

GENNADIY P. SVINTSOV – Doctor of Technical Sciences, Professor of Electric and Electronic Apparatus Department, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (eea_chuvsu@mail.ru).

Формат цитирования: Васильев Е.Г., Иванов И.П., Митрофанов О.Н., Самуилов Д.В., Свицков Г.П. Особенности проектирования двухпозиционных электромагнитных реле с механической блокировкой // Вестник Чувашского университета. – 2021. – № 3. – С. 31–38. DOI: 10.47026/1810-1909-2021-3-31-38.