

НОВЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ВАКУУМНЫЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ РЕЛЕ



В аппаратуре связи и многих других радиотехнических объектах в качестве коммутирующих элементов высокочастотных цепей широко используются вакуумные высокочастотные реле (выключатели и переключатели), которые имеют лучшие параметры по сравнению с другими типами электромагнитных реле благодаря использованию вакуума в качестве диэлектрика между разомкнутыми контактами.

В процессе эксплуатации контакты вакуумных реле не окисляются и не загрязняются, их сопротивление мало и не зависит от воздействия внешних климатических факторов (влажность, температура, соляной туман и т. д.). Поэтому потери мощности в контактах незначительны и не изменяются в течение всего срока службы. Пробивное напряжение в вакууме во много раз больше, чем в воздухе. Это позволяет уменьшить расстояние между контактами, что, в свою очередь, повышает быстродействие реле. Пониженное атмосферное давление не влияет на электрическую прочность межконтактного зазора, что позволяет использовать вакуумные реле в аппаратуре, работающей на больших высотах и в космосе.

Для реализации новых разработок приемно-передающей бортовой и наземной РЭА требуются вакуумные реле с небольшими габаритами, низкой мощностью управления, высокими надежностными характеристиками, быстродействием и различными величинами пропускаемой мощности.

Наиболее перспективны вакуумные реле с поляризованным электромагнитным приводом. В таких реле на якорь электромагнита воздействуют два магнитных потока: поляризующий, создаваемый постоянным магнитом, и рабочий, создаваемый токами, которые протекают по управляющим обмоткам электромагнита. При отсутствии тока в управляющих обмотках на якорь электромагнита действует сила притяжения, создаваемая поляризующими потоками постоянного магнита, которая фиксирует якорь и связанный с ним подвижный контакт в одном из устойчивых положений контактов реле.

Схема поляризованного электромагнита в момент включения одной из управляющих обмоток показана на рис.1. Поляризованный электромагнит состоит из якоря, двух стопов, магни-

М.Кулаков, Н.Кузнецов,
А.Коновалов, А.Ольховой
nak53@mail.ru

топровода, постоянного магнита, состоящего из двух радиально намагничиваемых полуколец, и управляющих обмоток.

В момент включения обмотки зазор между якорем и стопом δ_1 равен нулю, а зазор δ_2 — максимальный. Полярность кратковременного управляющего импульса в обмотке выбирают, чтобы направление магнитного потока Φ_1 в зазоре δ_1 было противоположено направлению поляризующему потоку ФПМ, а в зазоре δ_2 направление потоков совпадало. В зазоре δ_1 рабочий и поляризующий потоки компенсируются, а в зазоре δ_2 суммируются. Сила притяжения становится преобладающей, она усиливается по мере перемещения якоря во второе устойчивое положение, при котором зазор δ_2 равен нулю, а зазор δ_1 максимален. После прохождения управляющего импульса в первой управляющей обмотке якорь удерживается во втором устойчивом положении поляризующим потоком постоянного магнита. Возвращение якоря в исходное положение производится подачей кратковременного управляющего импульса нужной полярности на вторую управляющую обмотку. Наличие поляризованных электромагнитов поляризующего потока уменьшает потребление мощности, необходимой для надежной работы реле в различных условиях, и повышает их быстродействие.

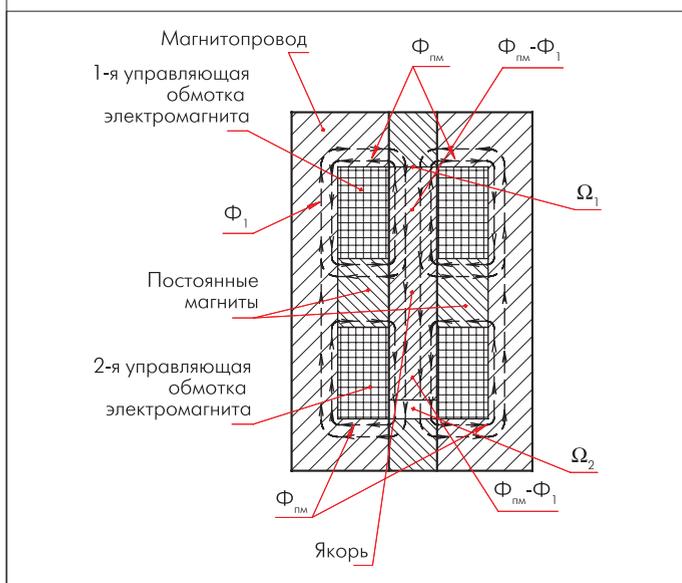


Рис. 1. Схема типичного поляризованного электромагнита



Конструкция реле, свойства материалов, качество и строгое соблюдение технологии его изготовления обеспечивают получение и сохранение заданных параметров реле в процессе хранения и эксплуатации.

Конструкция вакуумного поляризованного реле (рис.2) состоит из трех частей:

- вакуумированной металлокерамической камеры – керамического изолирующего цилиндра, к торцам которого припаяны заглушка и мембрана. Внутри камеры расположены подвижный и неподвижный контакты;
- поляризованного электромагнита, состоящего из якоря, стопов, магнитопровода, управляющих обмоток и постоянного магнита;
- системы передачи движения, которая представляет собой тонкостенную упругую мембрану, являющуюся, с одной стороны, элементом вакуумированной камеры, а с другой, – элементом, на котором закреплен подвижный контакт. Подвижный контакт, изолирующий стержень и стакан образуют рычаг, который при перемещении якоря электромагнита качается в вертикальной плоскости относительно центра мембраны и замыкает и размыкает цепь, образованную подвижным и неподвижным контактами.

В конструкции поляризованных реле, разработанных

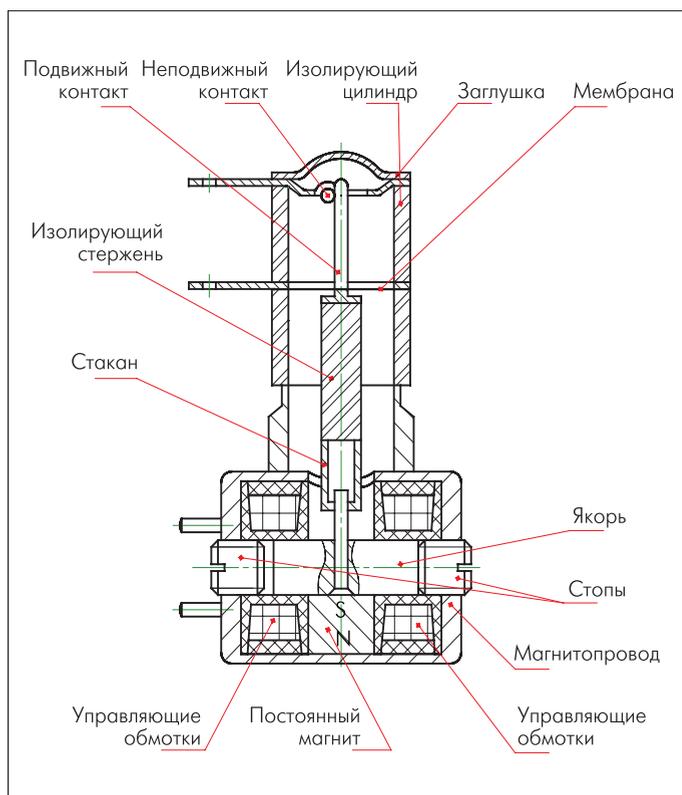


Рис.2. Конструкция вакуумного поляризованного реле

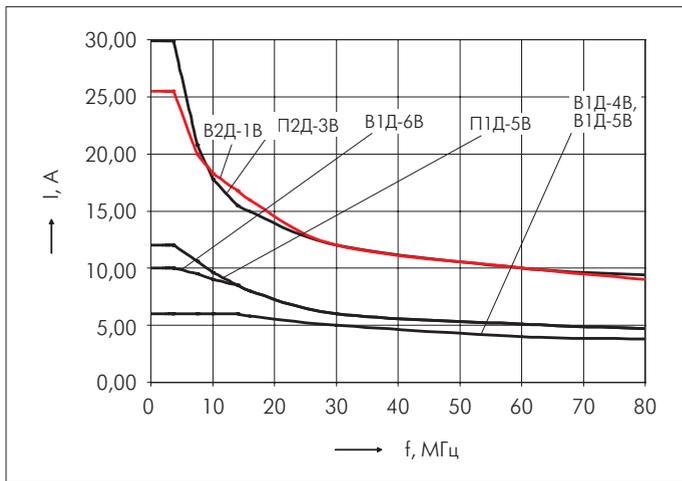


Рис.3. Типовые зависимости тока от частоты

НИИЭМП, применены запатентованные технические решения, которые обеспечивают регулирование величин контактных зазоров и контактных нажатий [1, 2].

В отличие от предыдущих конструкций в новых реле электромагнит расположен перпендикулярно продольной оси вакуумной камеры. Якорь электромагнита перемещается перпендикулярно к оси в плоскости, совпадающей с направлением перемещения подвижного контакта при замыкании или размыкании им электрической цепи. Регулирование межконтактного зазора и контактного нажатия реле происходит следующим образом: стопы электромагнита, выполненные в виде двух резьбовых винтов, в процессе монтажа перемещаются по оси магнитопровода электромагнита, чтобы установить оптимальные зазоры между якорем и стопом, и этот зазор жестко фиксируется.

Специально подобранные конструкционные материалы обеспечивают устойчивость характеристик реле при воздействии механических нагрузок, электрических и магнитных полей, климатических факторов (повышенная температура, влага, соляной туман и т.п.).

Особые требования предъявляются к материалам, используемым для изготовления вакуумной камеры. Прежде всего, это высокая вакуумная плотность, отсутствие раковин, трещин и подобных дефектов. Материалы не должны содержать растворенные газы или примеси с низким парциальным давлением насыщенных паров.

Токоведущие детали изготавливают из материалов с высокими электро- и теплопроводящими свойствами, они должны быть диамагнитными. Материалы же контактной группы должны быть достаточно прочными и формоустойчивыми при многократном контактировании, а также исключать возможность холодного сваривания в вакууме.

Диэлектрические материалы, из которых изготавливаются элементы вакуумной камеры, должны обладать механической прочностью, вакуумными свойствами, высокими поверхностным и объемным сопротивлениями, низкими высокочастотными потерями. В основном в качестве диэлектриков приме-

Параметры вакуумных реле

Основные параметры	Вакуумные реле поляризованного типа однополюсные				
	на одно направление			на два направления	
	В1Д-4В, В1Д-5В	В1Д-6В	В2Д-1В	П1Д-5В	П2Д-3В
Электрическая прочность при напряжении, кВ (амплитудное значение)	6	9	5	6	15
Номинальное напряжение, кВ (амплитудное значение) на частоте 30 МГц	2,5	4	1,5	2,8	5
Номинальный ток, А (действующее значение) на частоте 30 МГц	5	6	12	6	12
Диапазон рабочих частот, МГц	1,5–80	1,5–80	1,5–80	1,5–80	1,5–80
Емкость, пФ, не более межконтактная замкнутых контактов относительно корпуса	1,5	1,2	1,2	1,6	1
	1,5	1,2	1,2	1,6	1,6
Сопротивление контактов, Ом, не более	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Время срабатывания при 27 В, мс, не более	5	4	4	10	10
Напряжение питания обмотки управления, В	27 12	27	27	27	27
Напряжение срабатывания, В, не более	7,5	15	15	15	18
Сопротивление обмотки управления, Ом	45 14	126	85	85	80
	500	1000	1000	1000	400
Гарантируемое число коммутационных операций, тыс.	500	1000	1000	1000	400
Масса, г, не более	22	22	22	25	90
Длина/диаметр оболочки, мм	40/10,7	47/10,7	38/10,7	48/10,7	70/26,5

няется алюмооксидная керамика. Она имеет высокое поверхностное ($\approx 10^{11}$ Ом·см) и объемное ($\approx 10^{13}$ Ом·см) электрическое сопротивление, ее пробивное напряжение составляет $20 \cdot 10^6$ В/м, а тангенс угла диэлектрических потерь $\approx 10^{-4}$ даже на высоких частотах. Низкая величина тангенса угла диэлектрических потерь исключает перегрев и деформацию деталей в высокочастотных приборах.

Детали магнитопровода изготовлены из магнитомягкого металла с высокой магнитной проницаемостью и индукцией насыщения, минимальной остаточной намагниченностью (коэрцитивной силой) и незначительным старением. В качестве постоянных магнитов применяют магниты из сплавов на основе редкоземельных металлов, которые имеют высокую остаточную магнитную индукцию.

При изготовлении реле применяют типовые технологические процессы, отработанные на изделиях аналогичного назначения – максимально используются унифицированные и стандартизованные материалы, сборочные единицы, оснастка и т.п.



Основные процессы изготовления реле:

- изготовление деталей методами холодной штамповки, обработка металлов резанием, электроискровая обработка и др.;
- очистка деталей химическим, гальваническим, термическим методами в среде водорода и в вакууме и др.;
- монтаж и соединение деталей и сборочных единиц, входящих в состав вакууммированной камеры. Детали собираются в специальных оправках, предварительно фиксирующих их взаимное расположение, затем соединяются между собой пайкой твердыми припоями в среде водорода или аргонодуговой и лазерной сваркой и др.;
- вакуумно-технологическая обработка, включающая откачку до давления 10^{-7} мм.рт.ст.;
- сборка вакууммированной камеры с электромагнитом;
- замеры параметров и отбраковочные испытания;
- нанесение защитных покрытий и маркировка;
- цеховые испытания;
- приемо-сдаточные испытания.

Характер зависимости тока от частоты (рис.3) обусловлен увеличением с ростом частоты потерь мощности в металлических токоведущих элементах и диэлектрических деталях реле, данные приведены для максимально допустимой температуры нагрева 125°C .

Основные параметры реле поляризованного типа при нормальных климатических условиях приведены в таблице.

По функциональному назначению вакуумные реле В1Д-4В, В1Д-5В, В1Д-6В, В2Д-1В являются однополюсными на одно направление, т.е. имеют один подвижный и один неподвижный контакт. Реле П1Д-5В, П2Д-3В – это однополюсные на два направления, т.е. они имеют один подвижный и два неподвижных контакта.

По техническому уровню вакуумные реле, разработанные и выпускаемые в НИИЭМП, соответствуют лучшим зарубежным образцам и предназначены для применения в режиме бестоковой коммутации высокочастотных цепей в стационарных, самолетных, вертолетных, автомобильных и переносных радиостанциях, судовых и береговых автоматизированных комплексах связи, комплексах радиоэлектронного противодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пат. № 2066891 РФ. Высоковольтный вакуумный переключатель / **Бочкарев В.С., Коновалов А.Т., Кулаков М.М., Кузнецов Н.А.** – Оpubл. в Б.И. № 26, 20.09.96.

2 Пат. № 2076371 РФ. Высоковольтный вакуумный переключатель./ **Бочкарев В.С., Коновалов А.Т., Кулаков М.М., Кузнецов Н.А.** – Оpubл. в Б.И. № 9, 27.03.97.