*Глава вторая*

КОНСТРУКЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

**2-1. ИЗОЛЯТОРЫ**

1. Требования и исполнение

Изоляторы являются обязательными элементами входных цепей любой электрометрической аппаратуры. С их помощью участки и элементы высокоомных цепей изолируются от низкоомных или корпуса. Можно различать входные и монтажные изоляторы. Входной изолятор прибора изолирует его вход от корпуса. Входные изоляторы наиболее подвержены загрязнению, запылению , увлажнению. Монтажные изоляторы расположены внутри корпуса прибора и используются для крепления выводов высокоомных элементов, например резисторов или участков цепей. Изоляторы имеются во всех специальных элементах электрометрической аппаратуры: динамических конденсаторах, воздушных конденсаторах, резисторах, переключателях, реле.

Требования к электрическим характеристикам изоляторов многообразны и зависят от назначения изолятора , требований к аппаратуре, условий ее эксплуатации. Общими из них являются большое сопротивление, малый паразитный ток и малая зависимость этих величин от внешних условий: температуры, влажности и др. Как правило, стремятся иметь малую электризуемость изолятора , т.е. способность образовывать и сохранять на поверхности заряды под влиянием случайных воздействий : трения, давления, касания и т. п. Чем больше электризуемость , тем больший паразитный ток можно ожидать . Кроме того, электростатические поля наэлектризованных изоляторов способствуют возникновению помех (см. § 1-3).

Входные изоляторы, обеспечивающие герметичное уплотнение, можно изготовлять из мягких материалов, например фторопласта-4 (рис. 2-1,а). Вывод в месте про- хождения через изолятор снабжается насечкой, а для уплотнения служит резиновая шайба. Изоляторы из вязких материалов используются и в других случаях, когда не требуется жесткая фиксация изолируемого

участка цепи. Входные изоляторы изготовляют и из твердых материалов. Использование твердых материалов особенно важно, если на изоляторе устанавливаются конструктивные детали, например контакты реле. Для уплотнения проходного контакта через жесткий изолятор (например, из янтаря) применяют алюминиевую шайбу (рис. 2-1,б). Укрепление проводника или стерж-

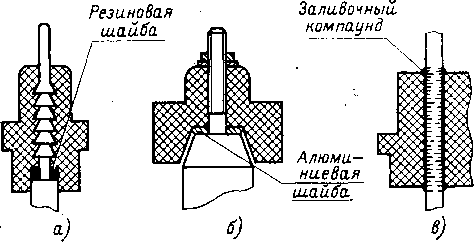


Рис. 2-1. Примеры конструктивного исполнения изоляторов .

ня в жестком изоляторе может быть получено также с помощью заливочного компаунда на основе смолы ЭД-5 (рис. 2-1,в). Такое решение наиболее целесообразно , если имеется несколько близко расположенных выводов через изолятор.

От свойств компаунда могут зависеть сопротивление изолятора и его паразитный ток. При избытке непрореагировавшего отвердителя (полиэтиленполиамина) на изоляторе вокруг выводов появляется мало заметная ореольная пленка [Л.2-6]. Ореол со временем расширяется , и при его соприкосновении с ореолом другого контакта или корпусом сопротивление изолятора падает примерно до 1012 Ом, а паразитный ток возрастает. *Хо­рошие* результаты дает компаунд следующего состава (в массовых частях): 10 частей смолы ЭД-5, 2 части пластификатора ДЭГ-1 и 9,6 части отвердителя Л-20. Для его полимеризации изделие выдерживается 24 часа при комнатной температуре, затем 4 часа при 40°С, 4 часа при 80 °С и охлаждается вместе с термостатом до 25 °С.

1. **Материалы**

Для изготовления изоляторов электрометрических приборов применяют сапфир, янтарь, кварц, фторопласт,

полистирол, керамику. Выбор материала зависит от конструктивного назначения изолятора, требований к метрологическим характеристикам аппаратуры, условий ее эксплуатации, технологических соображений, стоимости [Л. 2-5]. Приведем общие оценки таких материалов.

*Искусственный сапфир* является одним из лучших материалов для электрометрических изоляторов, он имеет большие объемное и поверхностное сопротивления и генерирует малый паразитный ток. Эти свойства связы­вают [Л. 2-15] с четкой кристаллической структурой сап­фира. Его использование из-за высокой стоимости и трудности обработки ограничивается аппаратурой пре- дельно высокой чувствительности [Л. 2-14]. За рубежом он применяется в серийных приборах, в нашей стране внедрение сапфировых изоляторов в электрометриче­скую аппаратуру только начинается.

*Плавленый янтарь* несколько уступает по своим свойствам сапфиру, но издавна широко используется, особенно при лабораторных разработках. Для получения большого сопротивления и малого паразитного тока поверхность изолятора из янтаря должна обрабатываться по 11 или 12-му классу точности. Недостатками янтаря являются хрупкость, что требует навыков при обработке, и хорошая способность к электризации трением. Янтарь пригоден для изготовления янтарного лака, который в настоящее время вышел из употребления.

*Эскапон* представляет собой обработанный при высо­ких давлениях и температурах каучук. Он хорошо обрабатывается , обладает малым паразитным током и боль­шим сопротивлением, мало подвержен влияниям влаги и температуры и особенно пригоден [Л. 2-6] для аппаратуры , работающей в тяжелых климатических и меха­нических условиях.

*Плавленый кварц* по сопротивлению изоляции подо­бен сапфиру, но его свойства зависят от технологии.. Кварц отличается высоким пьезоэффектом и гигроско­пичнее янтаря, но его способность накапливать заряд раз в 10 меньше, чем у янтаря.

*Фторопласт-4 (тефлон)* широко применяется в аппа­ратуре средней чувствительности. Он имеет очень высо­кое сопротивление в широком диапазоне температур, на его поверхности не образуются водные пленки. Изоля­ционные свойства и паразитный ток фторопласта мало зависят от влажности. Он хорошо обрабатывается, при-

чем достаточна чистота обработка по 6—7-му классу. Фторопласт инертен химически и не меняет характеристики со временем. Пластичность и текучесть фторопласта делают его наиболее пригодным для изготовления проходных изоляторов. Недостатком фторопласта является хорошая способность к образованию объемных и поверхностных зарядов под влиянием механической нагрузки или прикосновения, время рассасывания зарядов велико. Поэтому в высокочувствительной аппаратуре его не применяют.

*Полистирол* хороший изоляционный материал, но при высокой влажности образует на поверхности водные пленки. Обработкой диоксаном поверхностное сопротивление полистирола можно сделать не зависящим от влажности [Л. 2-16]. Он хорошо обрабатывается, но часто имеет внутренние дефекты. В процессе эксплуатации на полистироле могут появляться микроскопические трещины, резко снижающие поверхностное сопротивление . Для уменьшения склонности к растрескиванию рекомендуется [Л. 2-1] отжигать детали из полистирола с нагревом до 85 °С и последующим медленным охлаждением до 65 °С. Наименьшую склонность к растрескиванию имеет эмульсионный полистирол, наибольшую — блочный. Поверхность полистирола после загрязнения плохо поддается очистке.

*Фторопласт-3* имеет почти такое же большое поверхностное и объемное сопротивление, как полистирол, хорошо , без дефектов обрабатывается, по своим свойствам близок к фторопласту-4.

*Полиэтилен* имеет очень высокое объемное сопротивление , гибок и наиболее пригоден для использования в кабелях, применяемых с электрометрической аппаратурой .

*Радиокерамика* обладает механической прочностью, малой гигроскопичностью, высоким объемным сопротивлением , большой температурной стойкостью. Для повышения поверхностного сопротивления ее обрабатывают кремнийорганическими лаками, которые после сушки образуют механически прочный защитный слой. Керамические детали с такой обработкой легко очищаются от пыли и грязи растворителем или чистым спиртом. Паразитный ток керамики, особенно при повышенной влажности , велик, и она не используется в аппаратуре пре- дельной чувствительности.

*Парафин и церезин* применялись для покрытия изо­ляторов с целью повышения поверхностного сопротивления , но имеют низкую температуру размягчения, малую механическую прочность и склонны к загрязнению. В настоящее время они используются редко.

Применяются и другие материалы: ситалл, стеатито­вая керамика с влагозащитным слоем из церезина или полистирольного лака, полистироловая паста; в электро­статических электрометрах ранее использовались эбонит и сера.

1. **Сопротивление**

Обычно достаточно, чтобы сопротивление изолятора не было ниже 1012—1013 Ом, иногда требуется 1015 и да­же 1016 Ом. Это приближается к сопротивлению воздуш­ных промежутков; для воздуха удельное объемное со­противление равно 1019—1020Ом\*см. В изоляторах имеют­ся объемные и поверхностные утечки; наиболее существенными являются поверхностные. С повышением температуры значения объемного и поверхностного сопротивлений уменьшаются. Поверхностное сопротивление, кроме того, сильно зависит от загрязнения, влагообразования, трещин на поверхности. Для большинства материалов оно тем больше, чем выше класс обработки поверхности. Ровная поверхность менее склонна к загрязнению и увлажнению, ее легче очистить.

Для примера приведем технологию обработки янтар­ных цилиндрических изоляторов для динамических кон­денсаторов ДРК-4 [ Л. 2-6]. Боковые и торцевые поверх­ности полируются байковой шайбой с пастой 29, разведенной уайт-спиритом. Следы механической обра­ботки и царапины устраняют, слегка прижимая изолятор к шайбе и систематически смачивая его в уайт-спирите с пастой. После полировки изоляторы промывают в ги­дролизном спирте мягкой кисточкой до полного удале­ния пасты и просушивают при 50—60 °С в течение 30 мин. Чистовая полировка производится дисковой замшевой шайбой без пасты. Слегка касаясь (не дольше чем на 1—1,5 с) изолятором шайбы, устраняют оставшие­ся мельчайшие царапины. Затем изолятор промывают спиртом высшей очистки с помощью мягкой кисточки, сдувают воздуходувкой капли спирта и просушивают при 50—60 °С в течение 1 ч. Обработанные изоляторы хранятся в эксикаторе.

1. Влияние влажности

Поверхностное сопротивление в значительной степени зависит от влажности. Существует даже мнение [Л.2-5], что оно целиком определяется толщиной и составом водной или масляной пленки на поверхности изолятора. На смачиваемых поверхностях слой влаги при воздействии воздуха образуется за несколько минут. Влажность влияет на сопротивление загрязненных поверхностей (рис. 2-2); особенно опасно появление в поверхностных слоях влаги следов растворимых солей [Л. 2-5]. При относительной влажности 90—100% поверхностное сопротивление тефлона, стирофлекса, полиэтилена и других

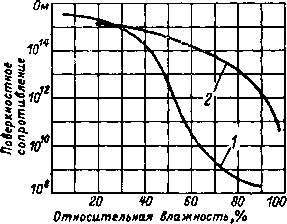
материалов снижается на несколько порядков и доходит до 107—1012 Ом [Л. 2-16]. При влажности 80% и менее поверхностное сопротивление большей части пластмасс вполне достаточно для электрометрических изоляторов .

Рис. 2-2. Зависимость удельного поверхностного сопротивления плавленого кварца от влажности. *1 — до* очистки; 2 —после очистки.

Для уменьшения влияния влажности изоляторы из стекла, керамики и т. п. покрывают водоотталкивающими лаками [Л. 2-16]. Керамика, покрытая лака­ми ФГ-9 и СБ-1с, имеет после полуторачасового пребывания воде и последующей двухчасовой выдержки сопротивление на уровне 1015 Ом. Поверхности изоляционных пластмасс являются водоотталкивающими сами по себе. В электрометрической аппаратуре для тяжелых условий эксплуатации предусматривается полная герметизация входного электрометрического блока, в обычной —частичная, защищающая входные цепи от пыли, грязи и в какой-то степени от влаги. При колебаниях температуры в полугерметизированный блок может натекать влага . Во избежание этого в блоки встраивают [Л. 2-7] капсулы с осушителем, например хлористым кальцием. Его периодически заменяют свежим. В аппаратуре, эксплуатируемой на открытом воздухе и при любой погоде, прибегают к подогреву входных изоляторов [Л. 2-8, 2-16].

1. Влияние ионизирующих излучений

Электрометрические измерители токов, используемые с ионизационными камерами, иногда работают в условиях радиоактивного облучения. Значения объемного и поверхностного сопротивлений изоляторов под воздействии радиоактивных излучений уменьшаются, после че- го первоначальные значения сопротивлений полностью не восстанавливаются. Степень этих влияний зависит от

*Таблица 2-1*

Допустимые облучения для материалов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал | доза гамма-облучения, Дж/м3 | Нейтронный поток, 1/см2 |
| Стекло | 3∙10-4 | 1018 |
| Кварц | 10-3 | 1019 |
| Полиэтилен | 10-2 | 1019 |
| Тефлон | 10-7 | 5\*1018 |

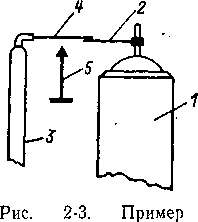
материала изолятора и вида продолжительности и интенсивности излучения [Л. 2-9]. Дозы облучения, не вызывающие необратимых изменений свойств материалов (табл. 2-1), существенно различны для разных мате- риалов [Л. 2-12].

**2-2. КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

1. **Общие сведения**

Коммутационные элементы для входных цепей электрометрической аппаратуры можно разделить на две группы: переключатели диапазонов для многофункциональных или многопредельных приборов и ключи (реле) для отсоединения прибора от объекта, замыкания цепи обратной связи и т. д. Требования к конструкции переключателей диапазонов зависят от используемых входных электрометрических элементов (лампа, МОП-транзистор , динамический конденсатор и пр.), количества диапазонов измерений и т. д., и обычно их разрабатывают в расчете на определенный вид или группу приборов. Требования к конструкции и функциональным возможностям реле менее многообразны, и допустима большая унификация.

К электрическим характеристикам изоляторов ком­мутационных элементов (сопротивлению, паразитному току, электризуемости) предъявляются обычные для электрометрической аппаратуры требования (см. § 2-1). При конструировании коммутационных элементов по воз- можности необходимо соблюдать принцип: лучшая изо-

ляция — это отсутствие изоляции. Пример конструктивной схемы клю- ча без изоляторов показан на рис. 2-3. На электрометрическом вы­воде входного элемента *1* укреплен пружинящий контакт *2.* На выводе высокоомного резистора *3* укреплен второй пружинящий контакт *4.* Нор- мально замкнутые контакты *2 и 4* размыкаются заземленным толкате- лем 5, который отгибает контакт *4* и заземляет его. Управляется толка- тель вручную или электромагни- том.

электрометрического ключа без дополни- тельных изоляторов.

При касании или трении подвижных контактов об изоляторы на них возникают паразитные заряды, а тем самым и паразитные токи. Во избежание этого некото- рые участки изоляторов покрывают проводящей плен- кой, краской или аквадагом [Л. 2-5]. Механические уси- лия на изоляторы при переключениях также могут вы- зывать паразитные заряды. Поэтому следует избегать больших контактных давлений.

Иногда требуется малая емкость разомкнутого элек- трометрического контакта. Это достигается выбором размеров контактов и несущих их пружин или исполь- зованием принципов эквипотенциального экранирования (рис. 2-4). Контакты *1* и *2* отгорожены друг от друга заземленным металлическим экраном *3.* Замыкающая контакты перемычка *4* укреплена посредством пружины *5* на изоляторе *6.* При размыкании контактов *1* и *2* пе- ремычка заземляется. Емкость между контактами равна нулю, а влияние емкостей каждого из контактов относи- тельно заземленных деталей можно сделать малым пу- тем рационального выбора потенциалов цепей. В некото- рых случаях уменьшить влияние емкости контакта мож- но и чисто схемными мерами.

При размыкании электрометрических контактов на них генерируются паразитные заряды. Причинами гене-

генерации являются контактная электризация, перемещение контакта в электрическом поле изоляторов, контактная разность потенциалов между контактом и окружающими металлическими деталями. Для реле РЭС-10 генерированный заряд составляет 10-13 Кл и более [Л. 2-6]. Он заряжает входную емкость прибора и воспринимается как помеха, уменьшающаяся по экспоненте с постоянной времени входной цепи. Напряжение , создаваемое генерированным зарядом, может вызывать поляризацию изоляторов и увеличение паразитного тока. Генерация заряда недопустима, если процесс измерения должен начинаться сразу же после коммутации. Заметим, что при коммутации могут происходить явления , дающие тот же эффект, что и генерация заряда на контактах, но имеющие другую природу, напри­мер магнитные наводки на электро- метрическую лампу от катушки возбуждения коммутирующего реле при его обесточивании.

Для уменьшения генерированного заряда контакты выполняют из одинакового материала, лучше из золота. Следует тщательно следить за их чистотой и состоянием поверхности. Перемещение подвижного контакта при коммутации должно быть минимальным. Чтобы контакт- ная разность потенциалов между контактами не создавала большого заряда на них, емкость между контакта­ми должна быть малой. Контакты необходимо экранировать от полей изоляторов, а экраны соединять с подвижным контактом, сводя к нулю разность потенциалов между ними.

Рис. 2-4. Пример электрометрического контакта с нулевой емкостью.

Упругая деформация контактов при замыкании приводит к их отскакиванию (дребезгу). Дребезг присущ всем реле и переключателям, время дребезга составляет несколько миллисекунд. В некоторых видах электрометрической аппаратуры это недопустимо. Для устранения дребезга контактов необходимо принимать специальные меры, например уменьшать угол встречи контактов при соприкосновении с тем, чтобы кинетическая энергия подвижного контакта полностью расходовалась на работу

трения между контактами. Можно питать обмотку возбуждения реле медленно нарастающим напряжением, что обеспечит плавное движение контакта.

Неблагоприятные влияния могут вызваться термо-э.д.с. на контактах. Для их уменьшения контакты изготовляют из одного материала.

Серийные коммутационные элементы электронных приборов обычно не удовлетворяют перечисленным специальным требованиям. Иногда их можно использовать в электрометрической аппаратуре невысокой чувствительности , но лишь после предварительного обследования . Некоторые типы серийных магнитоуправляемых контактов обладают хорошими с точки зрения электрометрии характеристиками [Л. 2-11]. Если не удается обойтись без серийного многопозиционного переключателя пределов, то используют, кроме того, однопозиционный электрометрический контакт, которым закорачивают переключатель в моменты коммутации [Л. 2-5].

1. **Примеры исполнения**

Электрометрическое реле РВ-3 [Л. 2-6] выполнено в корпусе, рассчитанном на проходное крепление (на стенке герметизированного электрометрического блока). Основными элементами реле являются (рис. 2-5) электромагнит *1* и контактная группа *2.* Они разделены воздушным зазором <3, что обеспечивается дистанционным кольцом *4,* зажатым между янтарным изолятором контактной группы *5* и электромагнитом. Два размыкающих контакта *6* реле расположенных

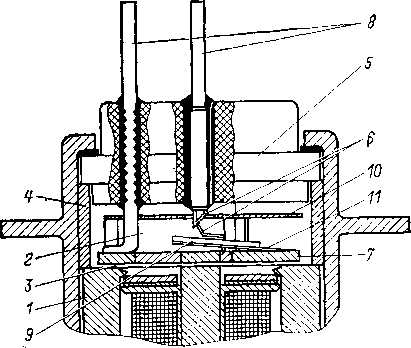
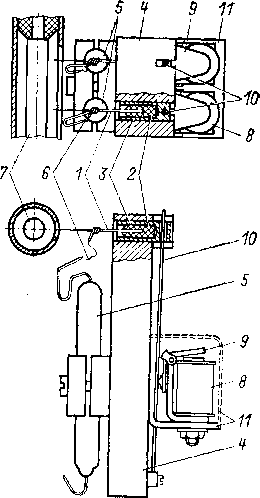


Рис. 2-5. Конструкция реле РВ-3.

Рис. 2-6. Многопозиционный электрометрический игольчатый переключатель .

между изолятором *6* и ди­ском 7. Выводы *8* контактов закреплены в изоляторе. Один из контактов имеет подложку *9* из ферромагнитного сплава, выполняющую роль якоря. Диск 7 изготовлен из ферромагнитного и диа­магнитного материалов в таком сочетании, что магнитное поле электромагнита концентрируется в месте расположения подложки *9,* в результате подложка с кон­тактом притягивается к диску. Вывод диска является выводом под­вижного контакта. Над подвижным контактом расположен экран *10.*

Контакты реле выполнены из сплава золота Зл-15 толщиной 0,11 мм в виде треугольной и прямоугольной рамок; они полируются , а качество рабочих поверхно­стей тщательно проверяется. Зазор между диском и нижней плоскостью дистанционного кольца выставляется при заливке выводов диска компаундом. Давление подвижного контакта на неподвижный регулируется подгибом пружины *111.* Угол встречи контактов существенно меньше прямого, а зазор между ними подбирается таким, чтобы дребезг отсутствовал, после этого вывод неподвижного контакта заливается компаундом.

Реле РВ-3 имеет генерируемый заряд менее 10-15 Кл, сопротивление изоляции контактов относительно корпуса и между собой не менее 1014 Ом. Ток срабатывания реле 20—30 мА, ток через контакты до 1 мА. Емкость между контактами около 2 пФ. Реле РВ-3 предназначено для работы в диапазоне от —50 до +60 °С, сохраняет работоспособность после выдерживания в среде с относительной влажностью 98% при +40 °С и может работать в условиях механических вибраций. На его базе выпускаются также реле РВ-4 с тремя контактами, два из которых размыкающие, и РВ-4А с тремя размыкающими контактами.

В электрометрическом многопозиционном (на рис. 2-6 показан двухпозиционный) переключателе Тартуского университета контакт­ная иголка *1* закреплена в изоляторе *2* из полистирола или фторопласта . Изолятор помещен в металлическую гильзу, являющуюся элек­тростатическим экраном. Гильза вместе с изолятором и иголкой мо­жет перемещаться на 2—3 мм по направляющей паза в верхней ча­сти корпуса *4* переключателя. Измерительный резистор *5* соединен с иголкой *1* гибкой проволокой *6.* Резистор подключается иголкой к входному стержню 7 электрометрического усилителя при срабаты­вании реле *8.* Перемещение якоря *9* реле *8* передается гильзе *3* через стержневую пружину *10.* Когда реле обесточивается, иголка *1* 4—377 49

пружиной *10* удаляется от стержня 7. Реле помещено в магнитный экран *11.*

Переключатель может иметь любое количество таких элементов. Они могут быть расположены вокруг входного стержня, в ряд на одной линии или группами по два-три элемента с противоположных сторон стержня.

**2-3. КАБЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Если непосредственное соединение электрометрического прибора с объектом невозможно или нежелательно , применяют кабели. Высокое сопротивление имеют кабели с изоляцией из полиэтилена, полистирола или фторопласта, например радиочастотные коаксиальные кабели РК по ГОСТ 11326-67. Их собственные помехи значительны, особенно если кабель не закреплен жестко **и** подвергается механическим воздействиям. В лучшем случае паразитный ток радиочастотного кабеля составляет 10-16—10-15 А, в худшем— 10-13—l0-12 А. Основными причинами паразитного тока высокоомных кабелей являются электризация трением и пьезоэффект.

При работе высокоомных кабелей в условиях механических воздействий их собственные помехи имеют

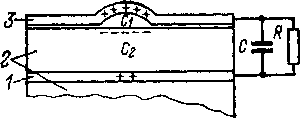
низкочастотную составляющую [Л.2-10,2-13]. Кабель состоит (рис. 2-7) из центральной металлической жилы *1,* окружающего ее изолятора *2* и наружной металлической оп­летки *3.* Вход электрометрического прибора под­соединяется к жиле *1*

Рис. 2-7. К вопросу о возникновении низкочастотных шумов ка­беля.

**и** оплетке *3*(на рис. 2-7 он представлен RC-цепочкой). При механических воздействиях на кабель внешняя оплетка на отдельных участках перестает соприкасаться с поверхностью -изолятора. При разделении на них возникают заряды противоположного знака . Появление зарядов на изоляторе индуцирует за­ряды на центральной жиле. Емкости участков *C1* и С2 не равны, и возникающие на них напряжения различны. На входе электрометрического измерителя появляется напряжение, которое изменяется от максимума до нуля с постоянной времени Т=*RC.* Местные нарушения контактов металлической оплетки с внешним изолятором **50**

происходят постоянно по всей длине кабеля, спектраль­ные характеристики возникающих шумов определяются спектром механических воздействий.

Способ уменьшения низкочастотных шумов вытекает из механизма их возникновения. Наружная поверхность изолятора кабеля покрывается проводящим материа­лом, например графитом, и заряды на ней не возника­ют, так как имеется постоянный контакт между оплет­кой и Поверхностью изолятора. Низкочастотные шумы

*Таблица 2-2*

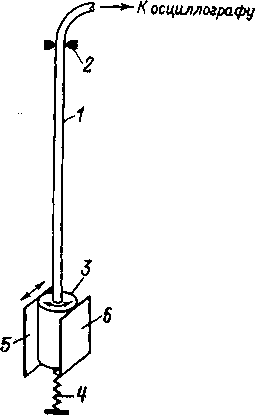
Характеристики антивибрационных кабелей

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tиπ** | Назначение | Наруж­ный диа­метр, мм | шумы | Емко­сть, пФ/м | Сопротивле­ние, Ом/м |
| АВК-1 | Для температур от —40 до +60oC и влажности до 98% | 5,0 | 0,1 пКл при 3—5 Гц  и амплитуде  45 м | — | — |
| АВК-2  АВК-3 | Стойкие к минеральному маслу и соленой воде | 3.7 | 30 мкВ при 40—60 и  500 Гц и 10*g* | 110 80 | 1011 после  48 ч в воде |
| АВК-6 | Для работы в диапазоне частот от 5 до 2500 Гц при 20oC | 2,2 | 30 мкВ при 40—60 Гц и 10 *g* | 130 | 3\*1012 |
| АВКЭ-1 | То же, что АВК-1, но экранированный | 5,5 | 0,1 пКл при 3—5 Гц и амплитуде 45 мм | — | — |
| АВКТ-1  АВКТ-2 | Теплостойкие | 2,5  3,5 | 100 мкВ при 40—60 Гц и *10g* | 110  80 | — |
| АВКТ-3 АВКТ-4 АВКт-5 | Теплостойкие с фторопластовой изоляцией | 2,0  2,0  3,5 | 50 мкВ при 40—60 Гц и 10 *g* | 110 130 130 | 5\*1012 при нормальных условиях и 5\*1011 при 200C |

4\*

51

резко снижаются, паразитные токи антивибрационных кабелей также меньше, чем у обычных кабелей. Характеристики некоторых антивибрационных кабелей приведены в табл. 2-2.

Шумовые свойства антивибрационных кабелей принято задавать зарядом *qш* цилиндр *3,* в нем размещена датчика, с которым предполагается использовать кабель. Кабель натянут пружиной *4,* прикрепленной к цилиндру *3.* Цилиндр зажат между пластинами *5* и *6,* одна из которых соединена с виброиспытательным стендом и совершает возвратно-поступательные перемещения в направлении , указанном стрелками. Амплитуду и частоту перемещений можно регулировать. Цилиндр *3* и нижний конец кабеля совершают крутильные колебания на некоторый угол а. Для улучшения воспроизводимости результатов верхний конец кабеля предварительно закручивается на угол до 360°. Шумовые свойства оцениваются коэффициентом *uшC∑/а,* где *иш —* напряжение шумов ; а — угол периодического закручивания кабеля;

или напряжением uш, для определения которых один конец кабеля подсоединяют через ЭМУ к осциллографу, другой оставляют разомкну­тым. Участок кабеля закрепляют в зажимах вибро- устройства и по осциллографу определяется *иш,* а затем по известной емкости образца подсчитывается *qш.*

Возможны и более объективные методы определения шумовых свойств кабелей [2-10]. Наилучшую воспроиз- водимость дает метод периодического скручивания предварительно напряженного кабеля(рис. 2-8). Отрезок кабеля 1 верхним концом зажат в штативе *2* и подсоединен к измерителю шу­мовых напряжений, например осциллографу. На нижнем конце кабеля закреплен эквивалентная емкость дат-

Рис. 2-8. Схема аппарата для испытания кабелей.

*Cς —* сумма емкостей кабеля и присоединенной. Этот коэффициент для каждого типа кабеля сохраняется постоянным при изменении длины кабеля, угла закручивания и присоединенной емкости.

К электрометрической аппаратуре иногда придают набор малошумящих кабельных соединений. Электро- метры Сагу 401 фирмы Applied Physics (США) комплектуются тремя видами кабельных соединений, рекомендуемых при измерении токов до 10-13, 10-14 и l0-l5A соответственно.

*Глава третья*

ПАССИВНЫЕ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ. ИСТОЧНИКИ

МАЛЫХ ТОКОВ

**3-1. ВЫСОКООМНЫЕ РЕЗИСТОРЫ**

1. Принципы выполнения

Первым высокоомным резистором служила ионизационная камера, работающая в ненасыщенном режиме, где ток пропорционален приложенному напряжению. В дальнейшем были развиты и другие принципы построения высокоомных резисторов: жидкостных и твердых (объемной и поверхностной проводимости), в том числе с использованием черной светонепроницаемой бумаги, тонких металлических слоев, графита, туши, сажи, свинцово-силикатных стекол [Л. 3-2, 3-17].

В электрометрии используются непроволочные высокоомные резисторы; проволочные резисторы с сопротивлением до 1012—1013 Ом изготовлены быть не могут. На базе литого микропровода выполняют резисторы с номинальными значениями сопротивлений до 109 Ом, делаются попытки изготовить микропроволочные резисторы на 1010 и 1011 Ом.

1. Композиционные резисторы

Производство высокоомных непроволочных резисторов освоено после второй мировой войны. Большинство из серийных резисторов — композиционные лакопленочные. Они имеют ряд достоинств. Сечение проводящего