

Лекция 4. Применение различных электронных компонентов современной элементной базы в коммутационном оборудовании коммутационных подсистем и сетевых платформ

Соединение элементов электронной аппаратуры (ЭА) для образования функционирующей электрической схемы осуществляется с помощью электрических контактов. С помощью контактов осуществляются электрические соединения между: электро-радиоэлементами, блоками, аппаратурой и системами. При своей относительной простоте они могут коммутировать токи от 10^{-10} до 10^6 ампер при напряжении от 10^{-12} до 10^5 вольт. Контакты, как правило, обладают малым сопротивлением, малыми потерями и могут работать в цепях переменного, постоянного и импульсного токов. В настоящее время с увеличением сложности разрабатываемой электронной аппаратуры значительно возрастает количество применяемых контактов, существуют электронные комплексы, содержащие до 300 тысяч одновременно работающих и функционально связанных между собой электрических контактов. В этих условиях электрические контакты в значительной мере определяют такие характеристики электронной аппаратуры, как надежность и стоимость в условиях серийного производства. С другой стороны, дальнейшая микроминиатюризация ЭА, при которой размер дискретного электроэлемента составляет миллиметры, а размер транзистора в ИС – десятки нанометров, становится невозможной из-за возникающих трудностей при создании мини- и микроразъемов с большим числом контактных пар. При уменьшении размеров контактов и, соответственно, разъемов возникают разнородные проблемы:

1. Усилия сочленения и расчленения должны оставаться на определенном уровне, не зависимо от числа контактных пар, иначе при их большом количестве сочленение/расчленение окажется невозможным.

2. Линейные размеры разъемов не должны влиять на отклонение размера, определяющего шаг контактов, штырей, гнезд и т.п. В противном случае в больших разъемах штыри на вилке могут не попасть в «свои» гнезда розетки. Люфт контактирующих элементов может привести к быстрому износу поверхностей либо к перекосу и поломке штырей.

3. При уменьшении размеров контактов возрастают требования к точности размеров, оборудованию.

4. Уменьшение размеров контактов не должно приводить к ослаблению, а, тем более искажению электрического сигнала.

5. Любое покрытие контактов создает дополнительное контактное сопротивление, а неправильный подбор материалов может внести искажения и создать помехи полезному сигналу.

6. С ростом числа контактов в современной ЭА необходим рост надежности контактного соединения. Иначе рост числа используемых контактов приведет к снижению надежности всей ЭА.

7. Надежность контактного соединения в сильной мере зависит от условий эксплуатации ЭА. Перечисленные выше проблемы создают сложности при проектировании многоконтактных устройств, а также при их выборе для использования в конкретной ЭА. Поэтому систематизация сведений об имеющихся электрических соединителях упрощает выбор их для ЭА, а правильное применение повышает эксплуатационную надежность аппаратуры. Потребность в высокоскоростных каналах связи стала причиной развития приборов на основе оптических эффектов. Оптоэлектронные элементы и устройства также содержат коммутационные элементы как электрические, так и оптические. Это дало новый толчок в развитии элементной базы коммутаторов для ЭА.

Устройства коммутации (коммутационные устройства) и соединители широко используются в ЭА, в том числе при применении интегральных схем (ИС). Устройства

коммутации позволяют быстро (практически мгновенно) коммутировать (включать, выключать) электрические цепи в работающей аппаратуре в результате изменения сопротивления исполнительных элементов под действием управляющих сигналов (или управляющих воздействий). Это дает возможность в процессе функционирования ЭА переключать диапазоны, изменять режимы работы, вводить информацию, перераспределять сигналы по цепям и т. п. Управляющее воздействие может осуществляться непосредственно оператором (нажатие кнопки, переключение тумблера и т. д.) – ручное управление. Устройства коммутации с таким управлением находятся на панелях аппаратуры. Управляющее воздействие может производиться электрическим управляющим сигналом. Устройства коммутации с таким управлением используются тогда, когда пульт управления отделен от аппаратуры, в которой должна осуществляться коммутация, и связан с нею электрически с помощью соединительных линий. При этом первичное управляющее воздействие – это непосредственные действия оператора, которые преобразуются в управляющий электрический сигнал, поступающий затем по проводам к исполнительным элементам.

Не меньшее значение имеют такие коммутационные устройства, в которых управляющим воздействием является электрический сигнал при автоматическом управлении аппаратурой. При этом управляющие сигналы вырабатываются в аппаратуре без участия оператора. В коммутационных устройствах большое значение имеют исполнительные элементы, которые бывают контактные и бесконтактные. Соответственно различают контактные и бесконтактные коммутационные устройства. В контактных используется электрический контакт – соприкосновение тел (контакт-деталей), обеспечивающее непрерывность цепи. В таких коммутационных устройствах (реле, кнопки и т. д.) обычно применяют стыковой контакт, при котором контакт-детали прижимаются друг к другу. Существуют также врубные и вставные контакты, когда контакт-детали перед рабочим состоянием осуществляют боковое или продольное движение в прижатом состоянии с преодолением сил трения.

С внедрением ИС и применением функционально-узлового метода конструирования большое значение приобрели приборные соединители, используемые внутри аппаратуры (приборов). Их использование позволяет значительно повысить плотность монтажа, облегчить проектирование, производство и ремонт аппаратуры. При этом электронная аппаратура собирается из печатных плат (модулей), на которых устанавливаются ИС, дискретные электронные компоненты и устройства функциональной электроники. В этих платах имеются соединители, через которые платы включаются в аппаратуру. Применение их обусловлено только конструкцией, но не схемой.

Параметры и требования соединителей и коммутационных устройств. Разнообразие требований, которые предъявляются к коммутационным устройствам и соединителям, привело к созданию большого числа их разновидностей, различающихся по функциональному назначению, принципу действия, конструкции, параметрам, техническим возможностям и областям применения. Основные требования сводятся к снижению затрат энергии (мощности) на управление, улучшению качества коммутации и, соединений, улучшению конструктивно-технологической совместимости с ИС, повышению надежности, быстродействия (для коммутационных устройств) и уменьшению усилий сочленения и расчленения (для соединителей). Основным параметром контактных и бесконтактных соединителей и коммутационных устройств как ручного, так и дистанционного и автоматического управления является сопротивление в состоянии контакта, или в замкнутом состоянии (при электрическом контакте) или в открытом состоянии (при использовании бесконтактных коммутационных устройств и соединителей), а также сопротивление в разомкнутом состоянии.

Характерной особенностью коммутационных устройств является многократное переключение ($10^5 \dots 10^8$ раз) в процессе функционирования аппаратуры, т. е. при наличии токов и напряжений, что предъявляет высокие требования к износостойчивости.

При многократном замыкании и размыкании в электрических контактах происходит изменение состояния контактирующих поверхностей контакт-деталей и их разрушение. Срок службы коммутационных устройств равен примерно 15–25 лет. Соединители включаются и выключаются сравнительно небольшое число раз (100–500) и обычно в неработающей аппаратуре. Основные требования предъявляются к контактному сопротивлению и его стабильности, контактному нажатию и усилию сочленения (расчленения), максимальным и минимальным токам и напряжениям, паразитным емкостям и сопротивлению изоляции между контактами разных пар. Важными являются также требования по надежности, технологичности, массе и габаритам. Требования к электрическим и конструкторским параметрам коммутационных устройств и соединителей разнообразны и часто противоречивы, в связи с чем выпускается много их разновидностей. Обычно коммутационные устройства и соединители являются нормализованными и стандартизованными. Это требует от конструктора умения ориентироваться в их многообразии, которое, с одной стороны, дает много возможностей, но с другой стороны, усложняют выбор оптимального варианта устройства для конкретной ЭА. Иногда приходится разрабатывать специальные коммутационные устройства и соединители частного применения. При выборе вида коммутационных устройств и соединителей конструктору следует иметь в виду их основные особенности, преимущества и недостатки.

В связи с этим длительное время велись поиски новых устройств, которые должны выполнять функции коммутации и соединителей в ЭА. Эти поиски привели к созданию нового вида бесконтактных устройств, основанных на принципах оптоэлектроники, когда вместо механических элементов, осуществляющих коммутацию и соединение, используется световой поток и элементы, чувствительные к его наличию и интенсивности. Коммутационные устройства и соединители на основе оптопар не содержат механически изготавливаемых деталей сложной формы и не требуют механической многоэтапной сборки, но им также свойственны определенные ограничения: сопротивление в открытом состоянии у них существенно больше, чем у контактных устройств.

В настоящее время получили также распространение новые бесконтактные коммутационные устройства на МДП и биполярных транзисторах. В МДП-транзисторах коммутируемая цепь подсоединяется к стоку и истоку, а напряжение, управляющее коммутацией, — к затвору. Такие коммутационные устройства обладают следующими преимуществами: могут быть использованы для коммутации постоянного и переменного тока, чрезвычайно компактны (до 1000 коммутационных элементов на 1 мм² в БИС-памяти), изготовление их основано на использовании технологических процессов микроэлектроники и групповой технологии. В качестве недостатка можно отметить значительно большее, чем у контактных устройств, сопротивление в открытом состоянии. Такая коммутация цепей нашла широкое применение в телефонных коммутаторах и при коммутации элементов памяти в БИС.

БЕСКОНТАКТНЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Особый тип бесконтактных коммутационных устройств — оптопара. Оптопары состоят из источника и приемника излучения (светоизлучателя и фотоприемника) с тем или иным видом оптической связи между ними, конструктивно связанных друг с другом. Принцип действия оптопары основан на преобразованиях электрической энергии в световую в излучателе и световой энергии в изменения параметров электрической цепи в фотоприемнике. По степени сложности их делят на оптопару и оптоэлектронную микросхему. Оптопара состоит из светоизлучающего и фотоприемного элементов. Если в оптопаре в качестве фотоприемника используется транзистор, то она называется оптоэлектронным прибором. Оптоэлектронная микросхема состоит обычно из одной или нескольких оптопар и одного или нескольких транзисторов. Конструкции оптопар имеют много общего с конструкцией полупроводниковых приборов и микросхем. Основными

характеристиками оптопар являются: сопротивление коммутируемой цепи в открытом и закрытом состояниях; максимальная скорость коммутации или длительность нарастания и спада импульсов; максимальные допустимые напряжения и токи цепей коммутации и управления; сопротивление развязки между управляющей и коммутируемой цепями; проходная, входная и выходная емкости. Оптопары различаются по принципу функционирования фотоприемника, в котором под воздействием источника излучения происходит коммутация: на светоизлучатель подается управляющее электрическое напряжение (такие коммутационные устройства могут быть единичными, т. е. коммутировать одну цепь, и могут быть созданы в виде микросхем, в которых осуществляется коммутация многих цепей внутри аппаратуры); используются механическидвигающиеся детали (при этом имеется в виду, что светоизлучатель включен непрерывно). Одной из основных частей оптопары является источник излучения. Наиболее универсальным видом излучателя, который используется в оптопарах, является полупроводниковый инжекционный светоизлучающий диод (СИД), обладающий высоким быстродействием, совместимостью с другими полупроводниковыми приборами, возможностью работы, как в импульсном, так и в непрерывном режиме, высокой надежностью. Важно отметить, что максимум излучения по частоте для основных материалов, из которых изготавливаются излучатели, близок к максимуму чувствительности по частоте для фотоприемников.

Оптопары можно применять для коммутации электрических цепей с использованием электрического управляющего напряжения (тока), что удобно для дистанционного управления, а также в случаях, когда управление должно производиться автоматически. При таком применении оптопар необходимо иметь в виду, что для устранения нелинейных искажений сигналы, несущие информацию, перед коммутацией должны преобразовываться в аналого-цифровом преобразователе (АЦП) в цифровой код. Поэтому более перспективным является использование оптоэлектронных коммутаторов аналогового сигнала с компенсацией.

Если оптопары использовать в соединителях, то из-за нелинейности их характеристик сигналы также нужно преобразовывать в АЦП в цифровой код.

Основные достоинства оптопар:

- практически полная электрическая (гальваническая) развязка между входом и выходом; малая проходная емкость; однонаправленность распространения сигналов;
- широкая полоса пропускания по частоте, возможность коммутировать импульсные сигналы, постоянную составляющую, аналоговые сигналы, цифровые сигналы;
- конструкторско-технологическая совместимость с полупроводниковыми приборами и микросхемами;
- высокая помехозащищенность канала, возможность построения сложных разветвленных устройств управления;
- управление работой оптопары как входным сигналом, так и оптическим каналом.

К недостаткам можно отнести:

- значительную потребляемую мощность и низкий КПД, так как необходимо двойное преобразование энергии;
- чувствительность параметров к воздействию повышенной температуры и ядерной радиации; «старение» параметров; высокий уровень собственных шумов;
- большое контактное сопротивление в открытом состоянии (единицы и сотни Ом), в то время как контактные устройства имеют контактное сопротивление, равное десятым и сотым долям Ом;

- существенное ограничение коммутируемой мощности, в то время как контактные устройства при соответствующих конструкциях и габаритах могут коммутировать очень большие мощности (1 кВт и больше);
- существенное ограничение коммутируемого напряжения (известны конструкции контактных переключателей с напряжениями, не достижимыми для оптоэлектронных коммутаторов).