Использование плоского кабеля при проектировании электронных узлов

Многие инженеры представляют себе плоский кабель как недорогое изделие, используемое в компьютерной периферии. Но не все плоские кабели созданы только для этого. Существует особая категория плоских кабелей, которые используются там, где ограниченное пространство является существенным фактором. Так называемый экструдированный силиконовый кабель разработан специально для приложений управления движением, в которых гибкость, прочность и экономия пространства выводят изделия на новый уровень.

Алексей Мельников

301177@mail.ru

Особенности экструдированного силиконового плоского кабеля

Экструдированный силиконовый кабель представляет собой набор проводников, которые заключены в силиконовую оболочку с помощью специального метода экструзии. Наиболее типичный форм-фактор такого кабеля — параллельно расположенные проводники.

Экструдированный плоский кабель доступен в самых разнообразных конфигурациях, что позволяет инженерам оптимизировать схему его прокладки для своего приложения (рис. 1). Силиконовая оболочка кабеля делает его более гибким, чем другие широко используемые типы плоских кабелей, поэтому такой кабель оптимально подходит для приложений с повторяющимися движениями. Силиконовая оболочка обеспечивает водонепроницаемость и устойчивость к низкой и высокой температуре.

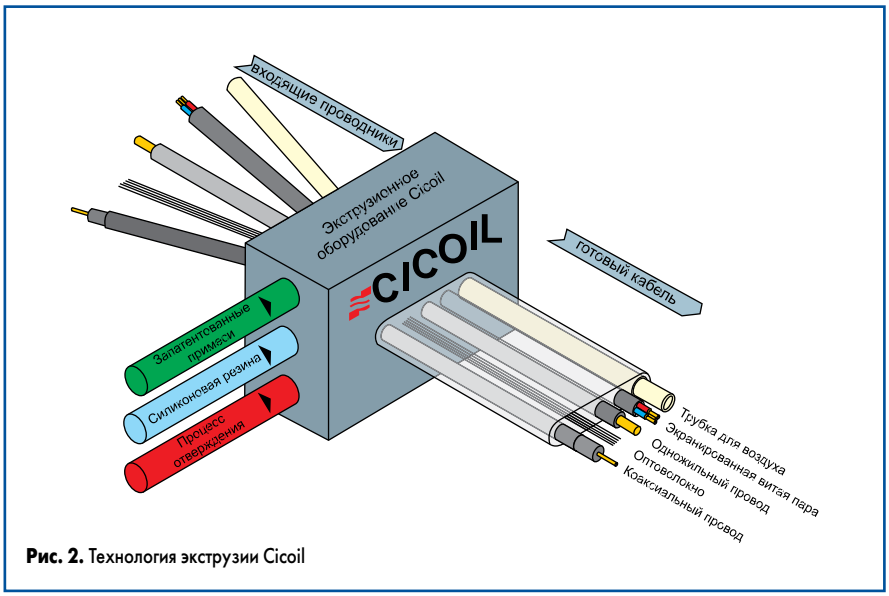


Рис. 2. Технология экструзии Cicoil

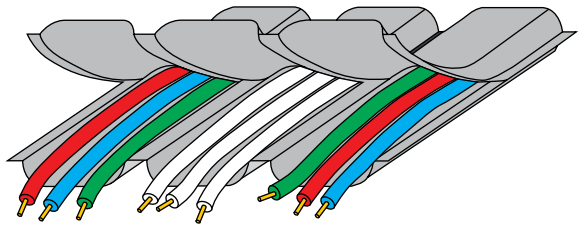
Рис. 1. Примеры конфигураций плоского кабеля Cicoil

Экструдированный силиконовый кабель — это уникальная технология компании Cicoil. Эта технология упаковывания проводников в силиконовую оболочку используется на протяжении 50 лет и находит применение в различных приложениях: от авиации до управления движением в промышленном оборудовании. Производство плоского кабеля в силиконовой оболочке любой длины осуществляется за счет запатентованного процесса экструзии (рис. 2). Благодаря технологии повысилась точность, сократились расходы, а также стало возможным производить кабели большой длины. Прежние методы не позволяли этого сделать.

Сравнение плоского и круглого кабеля

Также полезно будет сравнить структуру экструдированного силиконового кабеля с конструкцией типового круглого кабеля. Круглый кабель обычно состоит из пучка изолированных проводов, который окружен несколькими слоями изоляции из различных материалов. Как правило, это текстильный материал или полимер, которые выбирают исходя из условия минимизации нагрева от трения при сгибании кабеля. Все эти слои заключены в оболочку из ПВХ.

Рис. 3. Структура круглого кабеля



Оболочка кабеля состоит из двух половинок, которые соединяются сварным швом

Рис. 4. Структура кабеля из тефлона

В экранированных кабелях есть дополнительные слои из других материалов с низким коэффициентом трения (пленка, плетеная медь) и внешний слой из ПВХ или другого материала, стойкого к истиранию (рис. 3).

По сравнению с круглым кабелем плоский экструдированный силиконовый кабель позволяет использовать изоляционный материал более эффективно. Он не нуждается в слоях материалов с низким коэффициентом трения, потому что проводники не перемещаются внутри силиконового материала, который образует внешнюю оболочку. Следовательно, имея меньший наружный размер, экструдированный силиконовый кабель обладает большей гибкостью, чем круглый.

Также плоский форм-фактор кабеля обеспечивает лучший отвод тепла по сравнению с круглыми кабелями, так как кабель имеет большую по площади поверхность при данном объеме. Большая площадь поверхности плоского кабеля позволяет при повышенных температурах и данном сечении провода проводить больший ток. Проводники в таком кабеле имеют фиксированную геометрию, это делает их электрические свойства неизменными и согласованными. Расстояние между проводниками в кабеле из экструдированного силикона никогда не меняется и не зависит от изгиба кабеля. Таким образом, его сопротивление, индуктивность, емкость, время задержки, ослабление остаются неизменными. То есть все проводники в плоском кабеле имеют одинаковую физическую и электрическую длину. Это означает, что искажение сигнала и время задержки между сигналами в плоском кабеле сведены к минимуму.

С помощью плоских кабелей можно создавать соединительные системы более высокой плотности, чем при использовании круглых кабелей. Еще одним преимуществом является то, что проводники видны в прозрачной силиконовой оболочке, что облегчает поиск неисправностей в кабельной системе.

Экструдированный силиконовый кабель в сравнении с другими плоскими кабелями

Помимо прочего, полезно будет сравнить экструдированный силиконовый кабель с другими видами плоского кабеля.

Плоский кабель, используемый в компьютерной периферии, часто называют шлейфом. Это недорогой кабель, имеющий стандартную форму, размеры и шаг между проводниками, он используется с разъемами IDC. Обычно материал оболочки такого кабеля — ПВХ.

Проблема таких шлейфов в том, что они не предназначены для регулярного сгибания. ПВХ-оболочка шлейфов является относительно хрупкой. Есть шлейфы и со специальными материалами оболочки, имеющими бóльшую гибкость, но они, как правило, менее стойки к механическим повреждениям и воздействию агрессивных химических веществ. Кроме того, шлейфы доступны только с одним сортаментом проводов, что ограничивает их использование.

Существует еще один тип плоского кабеля — с оболочкой из тефлона. Этот материал имеет низкий коэффициент трения, и шлейфы, выполненные в такой оболочке, можно использовать в приложениях, требующих длительного срока службы при многократных изгибах. Единственной недостаток тефлоновой оболочки в том, что производственный процесс вызывает потенциальные недостатки в кабеле.

Кабель в тефлоновой оболочке получают путем спекания двух половинок тефлона, в которых находятся провода (рис. 4). Сварной шов между двумя половинками оболочки является слабым местом, что, в конечном счете, может привести к разрыву после многочисленных сгибаний. После разрыва кабель с тефлоновой оболочкой не может быть отремонтирован и подлежит только замене. Более того, провода в тефлоновом кабеле не фиксируются оболочкой. Они могут смещаться от их начального положения или вытягиваться в местах соединения на концах кабеля. Чтобы предотвратить такие проблемы, используют зажимы, которые закрепляют на кабеле через определенные расстояния, что увеличивает вес и стоимость кабеля, а также сказывается на его внешнем виде. В приложениях линейного перемещения эти недостатки тефлоновых оболочек могут привести к повышению сил инерции, вибрации, что в результате снизит производительность системы.

Силиконовый кабель не нужно скреплять зажимами, так как провода не могут сместиться внутри оболочки, которая фиксирует их. Герметизирующий силикон действует еще и как амортизатор, демпфируя и снижая вибрацию. Это увеличивает срок службы кабеля в приложениях, характеризующихся сильной тряской или вибрацией. Если экструдированный силиконовый кабель получает прокол, он самовосстанавливается. Гибкая силиконовая резина закрывает небольшие разрывы. Большие повреждения можно отремонтировать в любых условиях с помощью RTV.

Вопросы при проектировании

Ключевыми характеристиками кабеля в приложениях с многократными изгибами являются: допустимый радиус изгиба, жизненный цикл при постоянном изгибе, ограничения в пространстве и экологический фактор.

Радиус изгиба экструдированного силиконового кабеля, как и любого другого, зависит от сечения и типа используемых проводов. Чем меньше сечение проводов, тем меньше допустимый радиус изгиба. Следует, однако, отметить, что кабели с тефлоновой оболочкой при одинаковом сечении проводов имеют вдвое больший радиус изгиба, чем экструдированный силиконовый кабель (рис. 5). Таким образом, силиконовые кабели можно применять в более компактных местах, где у тефлонового кабеля не хватит радиуса изгиба.

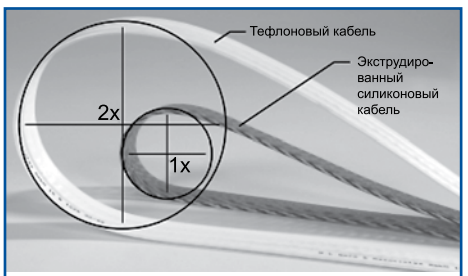


Рис. 5. Сравнение радиусов изгиба тефлонового и силиконового кабелей

В настоящее время часть оборудования промышленной автоматизации работает 24 часа в сутки и 7 дней в неделю и часто имеет роботизированные элементы, которые выполняют сложные движения тысячи раз в день. В таких приложениях особые требования предъявляются не только к движущимся частям механизмов, но и к электрическим кабелям. Инженеры тратят много времени на калибровку электромеханической части, но не задумываются, является ли верной кабельная часть системы. В результате кабели не выдерживают жестких условий эксплуатации, и происходит преждевременный отказ.

Статистика показывает, что качество и надежность оборудования на 50% зависит от проводов и кабелей. Стандартные кабели не предназначены для таких приложений, так как не могут работать при постоянных изгибах. Плоские кабели лучше всего подходят для

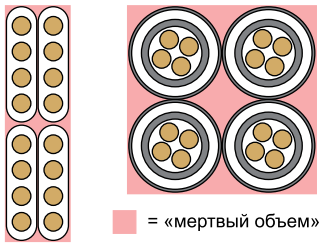


Рис. 6. Экономия пространства с плоским кабелем

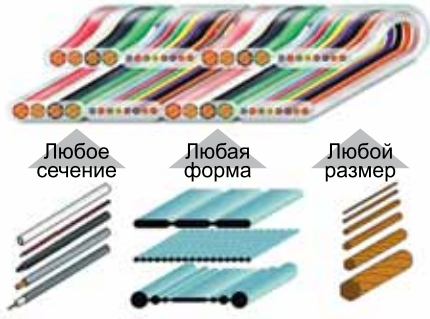


Рис. 7. Проводники разного сечения в одном плоском кабеле

Рис. 8. S-образная конфигурация кабеля

таких применений. Их проводники могут изгибаться по отдельности в одной плоскости, что обеспечивает оптимальный срок службы при постоянных изгибах. В таких условиях многожильные провода будут служить дольше. Например, стандартный провод калибра 28 AWG, как правило, состоит из семи жил калибра 36 AWG, но более гибким будет провод калибра 28 AWG, состоящий из 19 жил калибра 40 AWG (или еще меньшего сечения). Провод, состоящий из жил меньшего сечения, менее подвержен деформации под действием постоянного изгиба.

Следующим фактором, влияющим на долговечность кабеля, является его оболочка. Оболочки из ПВХ и других термопластичных материалов слишком хрупкие, чтобы выдержать многочисленные изгибы, поэтому в большинстве кабелей повышенной гибкости используют оболочки из тефлона или силикона. Кабели с тефлоновой или силиконовой оболочкой могут выдерживать десятки миллионов циклов сгибаний. Тем не менее, силиконовая резина в качестве оболочки кабеля является лучшим выбором при малых радиусах изгиба, так как она по своей сути более гибкая, чем тефлон.

Еще одним преимуществом экструдированной силиконовой оболочки является то, что провода в ней полностью зафиксированы внутри силикона, в отличие от находящихся в свободном состоянии проводов в тефлоновой оболочке. Провода, находящиеся в свободном состоянии, могут тереться друг о друга, что приводит к деформации и сокращению срока службы кабеля. Чтобы минимизировать такие эффекты, на кабеле с тефлоновой оболочкой устанавливают дополнительные зажимы по всей его длине, что увеличивает его стоимость и вес. В противоположность этому экструдированный силиконовый кабель с каждым отдельно инкапсулированным проводником позволяет продлить срок службы кабеля при работе в условиях постоянных изгибов.

Ограничение пространства является фактором, заставляющим компании более широко использовать автоматизацию производственных процессов. Высокая стоимость производственных площадей способствует сокращению места, занимаемого оборудованием. Во главу угла поставлен принцип «сделать больше в меньшем пространстве». В этих условиях специалисты мало уделяют внимания конструкции кабеля. Кабель зачастую попросту набивают в остатки пространства. Но это не оптимальный подход, который приводит лишь к непредвиденному обслуживанию оборудования или устранению неполадок.

Инженерам следовало бы учитывать схему прокладки кабеля в начале проектирования, и не только с точки зрения занимаемого объема в пространстве, но и исходя из критериев монтажа и доступности для обслуживания и ремонта. Как правило, круглые кабели занимают больше места, чем плоские. Благодаря своей геометрии, плоский кабель экономит пространство (рис. 6).

Силиконовый экструдированный кабель может состоять из проводников разного сечения и иметь форму и профиль, оптимизированные под пространство, где будет использоваться такой кабель. Технология позволяет контролировать толщину силиконовой оболочки между проводниками для наиболее точного соответствия заданному приложению (рис. 7).

Еще одной уникальной особенностью силиконового кабеля является его способность быть сформированным в виде S-кривых и других нелинейных форм (рис. 8). Таким образом, кабель можно проводить вокруг препятствия для максимальной экономии пространства.

Температурный индекс представляет собой температуру, при которой материал выдержит горение при концентрации кислорода в воздушной смеси 20,9%. Кабель с оболочкой из силикона имеет температурный индекс около +250 °C. Экструдированный силиконовый кабель предназначен для работы при температуре от –65 до +260 °C.

Силиконовые кабели сохраняют такую же гибкость, как при комнатной температуре, во всем рабочем диапазоне: от –65 до +260 °C. Кроме того, коэффициент линейного теплового расширения для силиконового кабеля Cicoil чрезвычайно низок (приблизительно 0,00018 1/°F). К примеру, КЛТР для тефлонового кабеля приблизительно в 4,7 раза больше (0,00085 1/°F). Это означает, что экструдированный силиконовый кабель сохранит размер и форму гораздо лучше, чем тефлоновый, в широком диапазоне температур, что может быть важным в приложениях, которые должны работать в чрезвычайно ограниченном пространстве.

Литература

1. Repas R. Designing with Flexible Flat Cable — www.cicoil.com