

Широкое освоение поверхностного монтажа и быстрое развитие портативной электронной техники способствует появлению нового поколения монтируемых на поверхность чип-резисторов, резисторных и резисторно-конденсаторных схем. Все большее внимание поставщиков пассивных компонентов привлекают тонкопленочные схемы, изготавливаемые на кремниевых подложках по полупроводниковой технологии.

По данным фирмы Dale, в 1993 году объем потребления чип-резисторов в Северной Америке составил более 30 млрд. штук, что в 2,5 раза больше объема потребления металlopленочных компонентов с аксиальными выводами. В 1994 году объем продаж чип-резисторов в натуральном выражении увеличился по сравнению с 1993 годом на 30%. Как считают эксперты фирмы Dale, разрыв в дальнейшем будет увеличиваться, а высокие темпы прироста сохранятся до 1997 года.

Устойчивая тенденция к уменьшению габаритов и увеличению быстродействия радиоэлектронных систем, усилившаяся с появлением портативных ПК, персональных средств связи и электронных помощников, привела к тому, что изготовители пассивных компонентов, наряду с прекращающимися работами по улучшению характеристик, все больше внимания уделяют вопросам уменьшения габаритов своих изделий. При этом, как отмечают эксперты, если в результате совершенствования полупроводниковой технологии в сотовых радиотелефонах используется всего три—пять ИС, то число пассивных компонентов в них может достигать 300—400 штук, т.е. сейчас большая часть такого телефона — пассивные компоненты. В результате прогнозы относительно резисторов, согласно которым объем производства этих компонентов должен был сокращаться вследствие совершенствования технологии интегральных схем и изготовления последних на одной пластине с ИС, пока не оправдались.

Работы по совершенствованию резисторной технологии направлены на уменьшение допусков и ТКС, расширение диапазона сопротивлений и рабочих температур. В настоящее время допуски на величину сопротивления толстопленочных резисторов составляют $\pm 5 - \pm 0,5\%$, в ближайшем будущем предполагается дос-

тичь уровня допусков, характерного для тонкопленочных компонентов, — $\pm 0,1\%$. Появились резисторы с номинальным значением сопротивления менее 1 Ом, а также компоненты с ТКС менее $5 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$.

Исследования в области новых материалов, совершенствование технологических процессов позволили значительно увеличить объемную эффективность резисторов. В результате размеры этих компонентов уменьшены настолько, что современное оборудование захвата и позиционирования оказалось непригодным для работы с ними. Это стимулировало разработку интегральных схем пассивных компонентов. Как показали расчеты специалистов фирмы Rohm, при монтаже резисторной схемы, содержащей четыре резистора, экономится около 30% площади печатной платы, по сравнению с монтажом каждого резистора отдельно. Кроме того, на 30—40% сокращаются затраты на монтаж компонента. Если стоимость каждого из четырех резисторов, входящих в схему, принять равной 0,004 цента (средняя цена современного резистора 0603 стандарта с допуском $\pm 5\%$), а затраты на размещение отдельного компонента — 0,015 цента (самый низкий современный уровень), то затраты на размещение четырех приборов составят 0,076 цента. При размещении на плате одного корпуса, содержащего четыре резистора, затраты будут равны 0,05 цента (средняя цена схемы 0,035 цента, затраты на монтаж 0,015 цента), т.е. на 34% меньше, чем в первом случае.

В модуле процессора UltraSparc, разработанного фирмой Sun Microsystems, 10 интегральных тонкопленочных резисторных схем в трехвыводных корпусах типа 1206 фирмы Thin Film Technology заменяют 30 дискретных компонентов. Применение этих резисторных схем позволило фирме Sun Microsystems сократить число выводов, необходимых

для распределения тактового сигнала, и освободить площадь платы для монтажа дополнительных компонентов.

Изготовители компонентов, начав с выпуска резисторных схем на трех подложках, монтируемых в обычные опрессованные корпуса, приступают к производству все более сложных схем, выполненных на одной керамической подложке. Требование уменьшения площади, занимаемой компонентом на печатной плате, стимулировало расширение работ по созданию резисторов в монтируемых на поверхность корпусах.

Больших успехов в области разработки резисторных схем с высокими рабочими характеристиками добилась фирма Rohm, выпустившая вариант резисторной схемы серии MNK-34 в корпусе с прямыми углами, служащими опорными точками при монтаже компонента на плату. В новой схеме типа MNK34K5ABJ в корпусе размером 5,1x3,1 мм размещаются четыре резистора на диапазон сопротивлений от 10 Ом до 1МОм, номинальное напряжение 50 В и мощность 63 мВт на элемент при температуре 70°C. Допуск на сопротивление равен $\pm 5\%$, ТКС ($3 \cdot 10^{-2}/^\circ\text{C}$) и диапазон рабочих температур от -50°C до $+125^\circ\text{C}$.

К достоинствам новой резисторной схемы относится наличие больших контактных площадок под пайку на плате и электродов выпуклой формы. Первое способствует получению прочного паяного соединения компонента с контактными площадками платы, благодаря чему требуется на 40% меньше пасты припоя, чем для традиционных схем, монтируемых в опрессованных корпусах типа SO14 и SO16. Выпуклая форма электродов облегчает удаление припоя между соседними электродами, сводя к минимуму вероятность закорачивания, что особенно важно при пайке волной припоя. Шаг выводов равен 1,27мм.

Резисторная схема поставляется на ленте в рулонах, содержащих 4 тыс. схем по цене 50 долл. за 1 тыс. при закупке партии в 100 тыс. штук. Срок поставки – восемь недель.

Представляют интерес резисторные схемы для поверхностного монтажа фирмы Panasonic Industrial: дешевые компоненты типа EXB-A, содержащие восемь резисторов в корпусе типа 2512 (6,4x3,2мм); матричные схемы типа EXB-V с выпуклыми самосовмещенными при пайке выводами; низкопрофильные (высота 2,5мм) и с высокой плотностью размещения элементов схемы, содержащие 28 резисторов.

По утверждению коммерческого директора фирмы IRC, около 10 лет назад освоившей производство чип-резисторов в опрессованных корпусах, в настоящее время одними из самых быстрорастущих производственных мощностей компании являются линии по выпуску резисторных схем в корпусах для поверхностного монтажа. Фирма поставляет схемы с лазерной подгонкой сопротивления, содержащие до 19 резисторов в безвыводном корпусе (носителе кристалла с 20 контактами и до 27 компонентов в 28-контактном корпусе. Диапазон сопротивлений – от 10 Ом до 200 кОм, коэффициент допуска на величину сопротивления – 0,1 %, температурный коэффициент слежения – $\pm 5 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.

Интересна резисторная схема серии 752 фирмы CTS Resistor Networks (США), выполненная на керамической подложке и предназначенная для применения в системах, где главными требованиями являются высокие рабочие характеристики и малые габариты (возможно, и за счет увеличения ее стоимости). Резисторная схема найдет спрос у изготовителей оборудования, работающего на частотах 60 МГц и выше при развиваемой мощности более 80 Вт и выполненного на базе схем с высокой плотностью размещения элементов, монтируемых на поверхность многослойных (восемь и более слоев) плат.

В ответ на требования изготовителей оборудования дальней связи специалисты фирмы разработали резисторные схемы, используемые во вторичных системах защиты от перенапряжения, сопрягаемых с внешними телефонными линиями. Такая схема серии 755, содержащая два толстопленочных резистора, последовательно соединенных с двумя термостойкими предохранителями и

смонтированных на подложке из окиси алюминия, поставляется в плоском корпусе с однорядовым расположением выводов размером 38,1x11,2мм. Диапазон сопротивлений в схемах с термостойким предохранителем составляет 50–200 Ом, а в схемах без предохранителей – 220 Ом–500 кОм. Стартовая цена равна 2 долл. при закупке партии в 3 тыс. штук.

Ряд изготовителей, стремясь усовершенствовать свои изделия, освоили выпуск резисторно-конденсаторных схем. Примером такого изделия является схема серии 700 фирмы Bourns Networks, используемая в качестве согласованной нагрузки по переменному току КМОП-схемы. Каждый элемент схемы представляет собой последовательно соединенные резистор и конденсатор, все элементы ее присоединены к общему выводу. Схема может использоваться в качестве шунтирующей нагрузки быстродействующих линий передачи данных. Последовательно включенный конденсатор обеспечивает развязку по постоянному току, что позволяет резко снизить потребляемую мощность.

Пока еще большой рынок многоэлементных схем не сформировался. Тем не менее такие схемы уже выпускаются в малогабаритных корпусах типа SO, SSOP и ISSOP и используются в качестве фильтров источников питания, а также для развязки по низкой частоте и уменьшения вносимых помех. Фирма Dale в 1996 году выпустила такую многоэлементную схему в корпусе SSOP-типа.

Кроме того, применение резисторно-конденсаторных схем также позволяет существенно сократить число монтируемых на плате пассивных компонентов. Так, применение в высокопроизводительной рабочей станции двух монтируемых на поверхность схем, содержащих 27 резисторов и 18 конденсаторов, позволило сократить число пассивных элементов, используемых в порте элементов параллельного ввода/вывода, с 43 до двух.

Поставщики пассивных компонентов в последнее время испытывают давление со стороны изготовителей портативного оборудования, требующих создать пассивные компоненты, способные фильтровать паразитную электромагнитную энергию, генерируемую токоведущими дорожками на плате, источниками питания, портами ввода/вывода сигнала и быстро-

действующими устройствами синхронизации. Для выполнения этого требования многие изготовители обратились к тонкопленочным схемам пассивных компонентов, изготавливаемых на кремниевых подложках по полупроводниковой технологии. Но поскольку такие тонкопленочные схемы не считаются изделиями широкого применения, эта тенденция до сих пор проявлялась довольно слабо.

Кроме того, технология изготовления тонкопленочных резисторных схем на кремниевых подложках достаточно сложна и дорогостояща (затраты на ввод в строй современного предприятия по изготовлению таких компонентов составляют 75 млн. — 100 млн. долл.), и пока ее смогли освоить лишь несколько крупных американских поставщиков пассивных компонентов. Изготовители комплектующего оборудования предпочитали занимать позицию — “поживем-увидим”, а поставщики компонентов – не вкладывать значительные средства в освоение крупносерийного производства этих изделий. В последнее время ситуация стала меняться, что и заставило экспертов по-новому оценить потенциал тонкопленочных пассивных элементов для портативных систем вычислительной техники и средств связи.

К достоинствам тонкопленочных схем на кремниевых подложках при сопоставлении их с дискретными и традиционными схемами пассивных компонентов на керамической подложке относятся меньшие габариты и возможность создания больших интегральных схем резисторов и конденсаторов и даже специализированных резисторных схем с активными элементами с помощью хорошо отработанной полупроводниковой технологии. Для осаждения тонких пленок резисторных и проводящих материалов на подложку используется метод катодного распыления или вакуумного напыления; требуемые рисунки компонентов и межсоединений формируются методами литографии (минимальная ширина линий 25 мкм, расстояние между ними 50 мкм). В настоящее время стандартная тонкопленочная схема, монтируемая в 20-выводной малогабаритный низкопрофильный корпус типа TSSOP, может содержать 18 резисторов и 18 конденсаторов.

К другим достоинствам тонкопленочных схем пассивных компонентов относятся *прецизионность* — допуск на значение сопротивления RC-схем, как правило, равен $\pm 2\%$, емко-

сти – ±10% (для компонентов толсто- пленочных резисторно-емкостных схем этот параметр равен ± 20%); *стабильность характеристик* (стандартное значение ТКС составляет $5 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$, но возможно изготовление компонентов с ТКС $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ (при этом степень изменения его значения на протяжении срока службы меньше, чем у толстопленочных компонентов (рис.)); *широкий диапазон значений сопротивления и емкости* – от 10 до 150 Ом для резисторов и от 25 до 300 пФ для конденсаторов.

Тонкопленочные схемы пассивных компонентов характеризуются высокой влагостойкостью и отсутствием миграции серебра или растекания припоя. Таким образом, эти схемы имеют преимущество перед другими типами пассивных компонентов при использовании в устройствах фильтрации электромагнитных и высокочастотных помех. Они весьма перспективны для применения в электронных записных книжках; аппаратуре сотовой связи и военном связном оборудовании, работающем при неблагоприятных условиях окружающей среды; контрольно-измери-

тельном оборудовании.

Стремительное развитие портативных компьютеров привело к появлению малогабаритных низкоомных резисторов, предназначенных для защиты схем считывания тока от перенапряжения. На фирме Dale разработана новая серия LVR-1 низкоомных резисторов с аксиальными выводами для схем считывания тока, которые характеризуются сочетанием низкого сопротивления (0,1 Ом ± 1%) с достаточно высокой мощностью (1 Вт), низкой индуктивностью и стабильностью нагрузочных характеристик. Цена изделия – 65 центов при закупке партии в 1000 штук. Фирма также выпустила новые низкоомные резисторы серии WSL, величина сопротивлений которых составляет (0,005 – 1 Ом) ± 1%.

Требование обеспечения высокой плотности размещения элементов в блоках портативных вычислительных систем и средств связи касается и источников питания, для которых необходимы резисторы, выдерживающие высокую плотность мощности. По данным специалистов фирмы Ohmite (США), монтируемые на поверхность

резисторы высокой мощности уже достаточно широко применяются в блоках питания медицинского оборудования и средств связи, где хорошо освоена технология поверхностного монтажа; в последние три года объем их продаж ежегодно увеличивается в два раза. В мощных резисторах фирмы Ohmite в качестве подложки используется холоднокатанная сталь с фарфоровым покрытием, наносимым по Pecos-технологии, запатентованной фирмами RCA и Corning несколько лет назад. Фирма Ohmite приобрела этот патент в 1988 году. Резисторы, изготавливаемые на Pecos-подложках, характеризуются плотностью мощности до 0,03 Вт/мм². Фирма планирует начать выпуск Pecos-резисторов для поверхностного монтажа в 1996 году.

Electronic News, 1996, v. 42, N 2115, pp. 1, 60
Electronic Engineering Times, 1995, N 880, pp. 37, 110/
Electronic Engineering Times, 1994, N 822, p. P6;
Electronic Business Buyer, 1995, v. 21, N 6, pp. S3-S9;
Electronic Design, 1995, v. 43, N 5, p. 122;
EDN, 1995, v. 40, N 11, pp. 130

Как это ни парадоксально, последним словом в аудиосистемах высших моделей стали такие "светящиеся древности", как ПУЛ. Коллекционеры платят сотни долларов за проржавевшие усилители бытовой аппаратуры, пролежавшие на чердаках не один десяток лет. Идет поиск неиспользованных запасов ламп в ремонтных мастерских, заброшенных коллекциях и даже на военных складах. Спрос на ПУЛ стимулируют не только исторические изыскания. Объемы новых разработок ламповых усилителей намного превышают уровень 50-х годов — периода их расцвета. Цены на мощные многоканальные усилители колеблются от нескольких тысяч до десятков тысяч долларов. Оригинальные старые неиспользованные лампы могут стоить даже выше, чем аппаратура, в которой они используются. Поскольку производство таких вакуумных ламп прекратилось в США несколько десятилетий назад, вновь организовать его — непростая задача. Чтобы решить ее, фирмы-дистрибьюторы обратили даже свое внимание на изготовителей в Восточной Европе, бывшем Советском Союзе и КНР. Подчиняясь неизбежности, фирма Western Electric восстановила производство одного из старейших и самых популярных типов ПУЛ — ЗДОВ-триода.

В чем же причина ажиотажного спроса на ПУЛ? Голоса меломанов, утверждавших, что качество звука лампового оборудования лучше, чем полупроводникового, хоть и слабо, но звучали и в те времена, когда слова "твердотельные приборы" были синонимом высокого качества аудиооборудования. Сегодня же общество меломанов убеждено, что дорогостоящие мощные линейные усилители и даже цифро-аналоговые преобразователи следует выполнять на базе вакуумных ламп. Их мнение основывается на не совсем правильной оценке качества звучания твердотельных устройств. Принцип "если в результате испытаний в контрольных точках одинаковы, то и характеристики одинаковы" не вполне справедлив, поскольку речь идет о параметрах в отдельных точках, а не во всем диапазоне. Кроме того, для меломанов более привлекателен внешний вид ламповой аппаратуры, в частности вид горящего разряда. Но самый существенный фактор — совершенствование технологий, применяемых в ламповых устройствах вспомогательных компонентов выходных трансформаторов и источников питания. При аккуратной намотке и использовании новых изолирующих прокладок можно изготовить высокоэффективные трансформаторы с отличными частотными характеристиками. На рынок поставляют конденсаторы емкостью до 2 мФ со скоростью нарастания напряжения до 25 В/мкс.

Американские изготовители аудиооборудования скептически относятся к ламповым устройствам, считая, что выбор того или иного типа аппаратуры зависит от вкуса и достатка (пока не существует дешевых ламповых моделей). Но основными поставщиками аудиотехники на мировой рынок являются японские и европейские фирмы, и последнее слово за ними.

Electronic Engineering Times, 1996, N 409, pp. 1, 106, 110

**Вакуумные
лампы
вновь
загорелись**

ДАЙДЖЕСТ