

Немагнитные радиочастотные соединители

Кива ДЖУРИНСКИЙ,
к. т. н.
istokptk34@yandex.ru

В последнее время ряд фирм (Radiall, Phoenix Company of Chicago, Amphenol, Emerson/Johnson, Rosenberger, Huber + Suhner и др.) выделяют в отдельную группу так называемые немагнитные соединители (non-magnetic connectors). Казалось бы, все просто: немагнитные соединители — это соединители, изготовленные из немагнитных материалов (латуни, бериллиевой бронзы, фторопласта). Но такие соединители уже давно выпускают многие зарубежные компании [1]. Однако при создании новой диагностической медицинской аппаратуры и, прежде всего, магнитно-резонансных томографов (МРТ) потребовались соединители с еще более низким уровнем магнитных свойств. Они необходимы и в спутниковой аппаратуре для исследования магнитных полей, а также подходят для некоторых других применений.

Общие сведения о магнитно-резонансной томографии

Магнитно-резонансная томография внутренних органов человека применяется в медицинской диагностике с 80-х годов прошлого века. Она основана на способности ядер некоторых элементов (H, C, F, P) вести себя как магнитные диполи. Большинство современных томографов настроено на регистрацию радиосигналов водорода, находящегося в тканях пациента. При воздействии на человека, помещенного в магнитное поле, радиочастотными импульсами происходит резонансное возбуждение и поглощение энергии протонами. При этом резонансная частота пропорциональна напряженности поля. После окончания импульса происходит релаксация протонов ядер водорода, что сопровождается выделением энергии в виде магнитно-резонансного сигнала [2].

Томограф — прибор для послойного исследования внутренней структуры объекта посредством многократного его просвечивания в различных пересекающихся направлениях (сканирующее просвечивание).

Наличие участков органов пациента различной плотности на пути излучения вызывает изменение его интенсивности, и на экране дисплея регистрируются томографические изображения (томограммы) обследуемых участков тела пациента [3].

Магнитно-резонансный томограф состоит из:

- полого магнита, создающего статическое однородное поле с магнитной индукцией 0,3–7 Т (внутри магнита на столе с регулируемым продольным и поперечным перемещением располагается обследуемый пациент (рис. 1));
- высокочастотной катушки, расположенной внутри магнита, для радиоволнового возбуждения ядер водорода, которая одновременно является приемником сигнала релаксации;
- двух высокочастотных катушек, которые накладывают на основное поле дополнительное, служащее для кодирования магнитно-резонансных сигналов от пациента;
- системы индикации магнитно-резонансных сигналов и обработки данных на компьютере [2, 4].

Качество томограмм зависит, прежде всего, от однородности магнитного поля и от-

ношения сигнал/шум. Для предотвращения существенного искажения магнитного поля необходимо, чтобы все находящиеся в нем элементы томографа были «прозрачными» для поля. Такими элементами являются радиочастотные соединители и кабельные сборки, соединяющие высокочастотные катушки с электронной частью томографа.

Магнитные свойства металлов, применяемых в соединителях

Все без исключения металлы в той или иной степени магнитноактивны, то есть магнетики. Это следует из атомистической природы их строения, так как электроны и ядра атомов являются элементарными носителями магнитного момента. Заключение о магнитных свойствах того или иного металла делают по величине его намагниченности M во внешнем магнитном поле напряженностью H : $M = \chi H$ [6]. Коэффициент пропорциональности χ (магнитная восприимчивость) характеризует основные типы магнетиков:

- диамагнетики;
- парамагнетики;
- ферромагнетики.



Рис. 1. Магнитно-резонансный томограф. Стрелкой показан соединитель компании ODU [5]

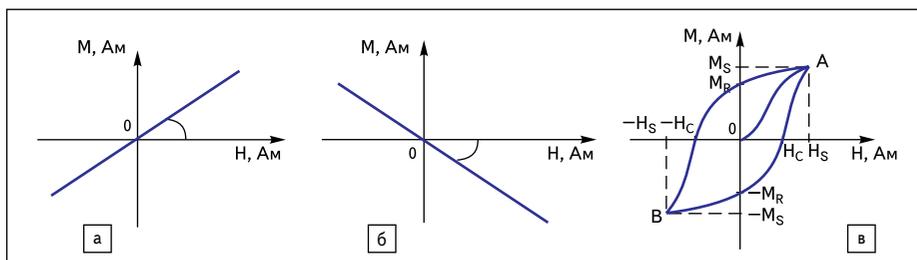


Рис. 2. Магнитные свойства: а) диамагнетиков; б) парамагнетиков; в) ферромагнетиков [4]

Диамагнетики

Причиной диамагнитных свойств является эффект электромагнитной индукции электронных токов, вызываемый в электронных оболочках атомов внешним магнитным полем. Намагниченность диамагнетиков прямо пропорциональна напряженности магнитного поля, а их векторы противоположны (рис. 2а). Поэтому магнитная восприимчивость имеет отрицательную величину. Диамагнетики не вызывают существенно искажения внешнего магнитного поля, так как абсолютная величина атомной магнитной восприимчивости мала — 10^{-5} – 10^{-6} и не зависит от температуры.

Диамагнетиками являются кадмий, серебро, золото, свинец, индий, цинк, медь и ее сплавы (латунь, бронза). Значения магнитной восприимчивости диамагнетиков и парамагнетиков приведены в таблице 1.

Таблица 1. Магнитная восприимчивость диамагнетиков и парамагнетиков [6]

Диамагнетики	$\chi \cdot 10^6$	Парамагнетики	$\chi \cdot 10^4$
Золото	-29,59	Палладий	5,8
Свинец	-24,86	Платина	2,0
Серебро	-21,56	Хром	1,6
Кадмий	-19,6	Титан	1,5
Индий	-12,36	Молибден	0,54
Цинк	-10,26	Алюминий	0,17
Медь	-5,4	Олово	0,04

Парамагнетики

Характерным признаком парамагнетизма является наличие у атомов металлов постоянных магнитных моментов независимо от внешнего магнитного поля. Однако при этом результирующая намагниченность парамагнетика равна нулю. Намагниченность возникает и начинает расти только с увеличением напряженности внешнего магнитного поля. Как и в случае с диамагнетиками, намагниченность прямо пропорциональна напряженности магнитного поля, но при этом величина магнитной восприимчивости положительна (рис. 2б). Парамагнетиками являются алюминий, палладий, платина, хром, титан, олово, молибден. Парамагнетики слабо возмущают внешнее магнитное поле, так как величина атомной магнитной восприимчивости сравнительно невелика (табл. 1). Для многих парамагнетиков существует обратно пропорциональная зависимость магнитной восприимчивости от температуры (закон Кюри-Вейсса).

В отдельную группу парамагнетиков иногда выделяют суперпарамагнетики, величина магнитной восприимчивости которых больше, чем у обычных парамагнетиков, но меньше, чем у ферромагнетиков.

Ферромагнетики

Наряду со слабомагнитными диамагнитными и парамагнитными металлами существуют металлы, например, железо, никель, кобальт и их сплавы, у которых намагниченность не является линейной функцией от на-

пряженности поля (рис. 2в). Намагниченность ферромагнетика сначала резко возрастает и при напряженности H_S достигает насыщения M_S в точке А (ОА — первая кривая намагниченности). Величина намагниченности насыщения падает с ростом температуры, и выше некоторой, определенной для каждого металла температуры — точки Кюри — ферромагнитные свойства исчезают. При этом ферромагнетик превращается в обычный парамагнетик с линейной зависимостью намагниченности.

Если начать уменьшать напряженность магнитного поля от H_S до нуля, то намагниченность не снизится до нуля, в ферромагнетике появится остаточная намагниченность M_R , несколько меньшая M_S . Для того чтобы получить нулевую намагниченность, необходимо приложить обратное магнитное поле напряженностью H_C (так называемая коэрцитивная сила). Дальнейшее увеличение отрицательного магнитного поля приводит ферромагнетик к насыщению в обратном направлении ($-M_S$) — точка В на рис. 2в. Если отрицательное поле будет уменьшаться, то при $H = 0$ намагниченность станет отрицательной ($-M_R$). При увеличении напряженности поля до H_C намагниченность становится равной нулю, а при дальнейшем увеличении поля до H_S (точка А) ферромагнетик достигает насыщения M_S . Таким образом, при полном цикле образуется замкнутая кривая — петля магнитного гистерезиса.

Ферромагнетики, у которых площадь петли невелика, а коэрцитивная сила не превышает десятков эрстед, называют мягкими. При широкой петле гистерезиса и коэрцитивной силе в сотни и даже тысячи эрстед ферромагнетики называют жесткими или высококоэрцитивными [6].

Понятие магнитной восприимчивости ферромагнетиков хотя и сохраняется как $\chi = dM/dH$, но дифференциальная восприимчивость χ сложным образом зависит от напряженности магнитного поля. Для описания магнитных свойств ферромагнетиков наряду с векторами M и H вводят понятие магнитной индукции B [6]:

$$B = H + 4\pi\chi M = (1 + 4\pi\chi)H = \mu_R H,$$

где $\mu_R = 1 + 4\pi\chi$ — относительная магнитная проницаемость.

Даже такой краткий экскурс в теорию магнетизма позволяет понять, что в соединителе, помещенном в магнитное поле напряженностью H , в результате намагниченности возникает собственное поле напряженностью H_1 , которое искажает силовые линии внешнего магнитного поля. Этот нежелательный эффект зависит от:

- расстояния между соединителем и точкой, в которой рассматривается магнитное поле;

- размеров соединителя (для крупных соединителей H_1 больше, чем для миниатюрных);
- магнитной восприимчивости или магнитной проницаемости материалов соединителя.

Чем меньше величина χ и чем ближе к единице магнитная проницаемость, тем меньше соединитель возмущает внешнее магнитное поле (тем он прозрачнее для поля). Чем больше величина магнитной восприимчивости, тем выше уровень магнитных свойств и тем больше соединитель искажает внешнее магнитное поле. Поэтому для изготовления немагнитных радиочастотных соединителей не пригодны суперпарамагнитные и тем более ферромагнитные металлы. В качестве конструкционных металлов и покрытий в немагнитных соединителях применяют только диамагнитные и слабо парамагнитные металлы с магнитной проницаемостью, близкой к единице.

Общие требования к немагнитным соединителям и условиям их производства

К соединителям для МРТ предъявляют жесткие требования:

- Исключительно низкий уровень магнитных свойств: магнитная проницаемость должна быть менее 1,0001.
- Низкий уровень пассивной интермодуляции — менее 160 дБс*.
- Уровень электрических и механических параметров должен быть не ниже, чем у стандартных аналогов [1].
- Большой срок службы и высокая надежность.
- Соответствие требованиям директивы RoHS о запрете свинца и других вредных веществ [1].

Конструкционные материалы

Для изготовления корпусов и выводов соединителей применяют только отобранные прутки латуни и бериллиевой бронзы, прошедшие контроль на вибрационном магнитометре. Величина относительной магнитной проницаемости должна быть менее 1,0001. Гнездовой вывод соединителей всегда изготавливают из термически упрочненной бериллиевой бронзы. Материалом изолятора служит фторопласт (тефлон). Запрещается хранить отобранные металлы вместе с другими, особенно ферромагнитными, металлами.

В соединителях для МРТ для изготовления корпусов не применяют аустенитную нержавеющую сталь, хотя она и считается немагнитным металлом. При деформации эта сталь приобретает слабые ферромагнитные свойства в результате частичного распада аустенитного γ -раствора и выделения магнитной

* Интермодуляция — процесс смешения нескольких сигналов с различными частотами, в результате которого возникают новые составляющие, искажающие основной сигнал. Одной из причин эффекта пассивной интермодуляции является магнитность конструкционных материалов и покрытий соединителя.

α -фазы (легированного феррита). Остаточную намагниченность не удается полностью снять даже путем длительного отжига [7].

Следует отметить, что герметичность соединителей для МРТ не регламентируется. Это существенно облегчает выполнение требования немагнитности соединителей, так как герметичность обеспечивается металlostеклянным спаем стекла с ферромагнитным железо-никель-кобальтовым сплавом «ковар».

Покрывтия

Основным покрытием соединителей является золото толщиной 0,5–1,5 мкм по подслою меди. Корпуса соединителей покрывают также диамагнитным сплавом «белая бронза» — медь (55%) — олово (25–30%) — цинк (15–20%) — толщиной до 4 мкм. Это покрытие было создано в качестве альтернативы никелевым и серебряным покрытиям. Оно имеет низкое контактное сопротивление, высокий уровень износостойкости и коррозионной стойкости. Однако «белую бронзу» нельзя применять, если требуется пайка по этому покрытию. Наряду с «белой бронзой» применяют сплав медь — олово — цинк с тонким наружным слоем золота [8].

В немагнитных соединителях недопустимо применение магнитного гальванического никеля в качестве как основного покрытия, так и барьерного слоя под другие покрытия. Возможно применение химически осажденного никеля, являющегося сплавом никеля с 10–13,5% фосфора. До температуры 300 °С он имеет аморфную структуру и не магнитен. Так, например, компания Rosenberger применяет покрытие AutoDur: 0,15 мкм золота поверх химически осажденного никеля толщиной 2–3 мкм [8]. Компания Radiall использует аналогичное покрытие NPGP [4].

Производство

Производство немагнитных соединителей выделяют в отдельную линию. При изготовлении деталей и сборке соединителей запрещено применение инструментов и приспособлений из магнитных материалов. Запрещается также хранить немагнитные соединители совместно с соединителями других типов. Собранные соединители проходят 100%-ный контроль на величину относительной магнитной проницаемости, которая должна быть менее 1,0001.

Немагнитные соединители зарубежных компаний

Radiall

Один из мировых лидеров в разработке и производстве соединителей (45 серий), французская компания Radiall создала серию немагнитных радиочастотных соединителей Coaxi-Core, обеспечивающих жесткие требования магнитно-резонансных томографов. Соединители Coaxi-Core имеют магнитную восприимчивость, в десятки раз меньшую,

Таблица 2. Магнитные свойства соединителей разных типов [4]

Соединители	H_1/H	χ
Coaxi-Core	$<5 \times 10^{-7}$	$\sim 10^{-5}$
Стандартные немагнитные	$\sim 10^{-5}$	$\sim 10^{-3}$
Изготовленные из латуни с никелевым покрытием	$\sim 10^{-4}$	$\sim 10^{-2}$

чем у стандартных немагнитных соединителей (табл. 2).

Отношение H_1/H на расстоянии 10 мм от соединителя, характеризующее возмущение поля томографа с магнитной индукцией 1,5 Т, для соединителей Coaxi-Core в 20 раз меньше, чем для стандартных немагнитных соединителей, и в 200 раз меньше, чем для соединителей с никелевым покрытием. При этом намагниченность соединителей Coaxi-Core не зависит от температуры и их расположения в магнитном поле.

Radiall выпускает соединители типов MMCX, SMB (с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом) и SMA. Они представляют собой вилки и розетки, прямые и угловые, для монтажа в отверстия печатных плат (рис. 3). Кабельные соединители предназначены для заделки обжимом гибкого кабеля. Выводы энергии для печатных плат (receptacle for printed circuit board, PCB) далее в тексте обозначены как вилка или розетка PCB. Основные типы соединителей Coaxi-Core приведены в таблице 3.



Рис. 3. Соединители Coaxi-Core компании Radiall [4]

Таблица 3. Основные типы соединителей Coaxi-Core [4]

Тип соединителя	Фирменный номер	Особенности конструкции соединителя
MMCX	R110 170 117	Угловая кабельная вилка (кабель 2/50/S)
	R110 426 097	Прямая розетка PCB
SMB	R114 082 097	Прямая кабельная вилка (кабель 2,6/50/S и 2,6/75/S)
	R114 186 097	Угловая кабельная вилка (кабель 2,6/50/S и 2,6/75/S)
	R114 313 097	Прямая проходная кабельная розетка (кабель 2,6/50/S и 2,6/75/S)
	R114 426 097	Прямая розетка PCB
	R114 665 097	Угловая розетка PCB
SMA	R125 075 097	Прямая кабельная вилка (кабель 5/50/S)
	R125 172 167	Угловая кабельная вилка (кабель 2,6/50/S)
	R125 426 067	Прямая розетка PCB

Таблица 4. Немагнитные соединители Phoenix [9]

Тип соединителя	Предельная частота, Гц	Номинальное напряжение, В	Максимальная величина вносимых потерь, дБ, (на частоте f, ГГц)	Допустимое количество соединений и рассоединений вилки и розетки
MMCX	6	170	0,2 (1)	500
MCX	6	250	0,1 (1)	500
SMB/SMA	4	335	0,3 (1,5)	500
SMA	18,5	500	0,03√f	100
BNC/TNC	11	500	0,18 (3)	500

Кроме соединителей, указанных в таблице 3, Radiall производит большие серии микроминиатюрных соединителей UMP и SMP, а также другие типы соединителей по техническим требованиям потребителя. Высокий уровень качества соединителей Coaxi-Core обеспечивается благодаря строгому выполнению директивного документа PAO-C007A (Radiall Quality Assurance Procedure).

Медицинская диагностическая аппаратура является не единственной областью применения немагнитных соединителей Radiall. Они нашли применение в спутниковой аппаратуре для физических исследований. Для этой аппаратуры Radiall выпустила серию немагнитных соединителей SMA, отвечающих требованиям европейского стандарта ESCC 3402 и директивы RoHS. Соединители изготовлены из бериллиевой бронзы и покрыты золотом по подслою меди.

Phoenix Company of Chicago

Phoenix Company of Chicago (далее Phoenix), имеющая производственные отделения в США, Мексике и Китае, является одним из ведущих производителей немагнитных соединителей для магнитно-резонансных томографов с индукцией магнитного поля 1,5–3 Т [9]. Phoenix выпускает соединители типов MCX, MMCX, SMB, SMA, BNC, TNC (табл. 4), а также типов N и 7/16.

Кроме того, Phoenix выпускает немагнитные соединители и устройства других типов по запросам потребителей, а также многовыводные низкочастотные соединители. В качестве покрытия эта компания применяет исключительно золото по подслою меди. Изделия отвечают требованиям директивы RoHS.

Emerson/Johnson

Американская компания Emerson Electric Co. выпускает, по-видимому, самую большую номенклатуру немагнитных соединителей с волновым сопротивлением 50 Ом, разработанных компанией Johnson (рис. 4) [10]:



Рис. 4. Соединители Emerson/Johnson [10]

- ультраминиатюрные: UMC;
- микроминиатюрные: MCX (волновое сопротивление 50 и 75 Ом), MMCX, SMP;
- субминиатюрные: SMB (волновое сопротивление 50 и 75 Ом), SMA, SMK;
- средние: N.

Компания производит основные конструктивные варианты соединителей: кабельные под гибкий и полужесткий кабель, проходные и для установки в отверстия печатных плат (табл. 5).

Допустимое количество соединений и расщеплений вилки и розетки без ухудшения параметров соединителя — 500. Рабочий диапазон температур соединителей всех типов: $-65...+165$ °С.

Rosenberger

Компания Rosenberger (Германия) — один из мировых лидеров в производстве радиочастотных соединителей. Наряду с производством основной продукции — прецизионных соединителей для радиоизмерительной техники — эта компания создала линию по выпуску немагнитных соединителей. Эти изделия предназначены для медицинской диагностики (МРТ, позитронных эмиссионных томографов, эндоскопов, дефибрилляторов), а также для исследовательской аппаратуры. В октябре 2009 года вышел специальный каталог Rosenberger “Medical Connectivity Solution”, в котором приведены все разработки компании для медицинского применения.

Rosenberger выпускает соединители SMA, MCX, SMB, QMA, BNC для работы в диапазоне частот до 18 ГГц (табл. 6). Параметры этих соединителей такие же, как и у соединителей других ведущих компаний [1, 11].



Рис. 5. Соединители Amphenol [13]

Таблица 5. Соединители Emerson/Johnson [10]

Тип соединителя	Фирменный номер	Особенности конструкции	Основные параметры
MMCX	135-9403-001	Прямая кабельная вилка (гибкий кабель RG-316/U, 188, 161, 174)	Диапазон частот: 0–6 ГГц. КСВН: 1,20–1,25. Номинальное напряжение: 170 В. Вносимые потери: 0,1 дБ — прямые соединители; 0,2 дБ — угловые соединители. Экранное затухание: –60 дБ
	135-9402-001	Прямая кабельная вилка (гибкий кабель RG-178/U, 196)	
	135-9436-001	Прямая кабельная вилка (полужесткий кабель 0,047")	
	135-9701-301	Угловые розетки PCB (высота выводов 3,94 и 1,73 мм)	
	135-9701-311		
	135-9711-001	Концевая розетка PCB с круглым выводом	
	135-9711-002	Концевая розетка PCB с ленточным выводом	
	135-9403-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 187, 179, 174, 161)	
135-9402-111	Угловая кабельная вилка (кабель RG-178/U, 196)		
135-9436-101	Угловая кабельная вилка (кабель 0,047")	Диапазон частот: 0–6 ГГц. КСВН: 1,07+0,06f _(ГГц) — прямые соединители; 1,17+0,09f _(ГГц) — угловые соединители. Номинальное напряжение: 220–335 В. Вносимые потери: 0,1 дБ — прямые соединители; 0,2 дБ — угловые соединители. Экранное затухание: –60 дБ	
133-9403-001	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)		
133-9404-001	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316DS, 188DS)		
133-9403-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)		
133-9404-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-316DS, 188DS)		
133-9402-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-178/U, 196)		
133-9701-201	Прямые розетки PCB (высота выводов 3,94 и 2,79 мм)		
133-9701-211			
133-9701-301	Угловые розетки PCB (высота выводов 3,94 и 2,79 мм)		
133-9701-311			
133-9701-801	Концевая розетка PCB с круглым выводом	Диапазон частот: 0–4 ГГц. КСВН: 1,25+0,04f _(ГГц) — прямые соединители; 1,35+0,04f _(ГГц) — угловые соединители. Номинальное напряжение: 335 В. Вносимые потери: 0,3 дБ — прямые соединители; 0,6 дБ — угловые соединители. Экранное затухание: –55 дБ	
131-9403-001, 131-9403-021	Прямые кабельные вилки (кабель RG-316/U, 188, 174, 179, 187)		
131-9404-001, 131-9404-021	Прямые кабельные вилки (кабель RG-316DS, 179DS, 188DS)		
131-9404-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174, 179, 187)		
131-9404-101	Прямые кабельные вилки (кабель RG-316DS, 187DS, 179DS, 188DS)		
131-9701-201	Прямые розетки PCB (высота выводов 3,94 и 2,41 мм)		
131-9701-211	Угловая розетка PCB (высота выводов 3,94 и 2,41 мм)		
131-9701-301			
SMA	142-9403-011	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)	Диапазон частот: 0–12,4, 0–18 ГГц. КСВН: 1,15+0,02f _(ГГц) — прямые соединители; 1,15+0,03f _(ГГц) — угловые соединители. Номинальное напряжение: 220–335 В. Вносимые потери, дБ: 0,06√f _(ГГц) — прямые соединители; 0,15√f _(ГГц) — угловые соединители. Экранное затухание: –60 дБ
	142-9404-011	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316DS, 188DS)	
	142-9407-001	Прямая кабельная вилка (кабель RG-58/U, 0,141")	
	142-9403-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	142-9404-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-316DS, 188DS)	
	142-9407-101	Угловая кабельная вилка (кабель RG-58/U, 0,141")	
	142-9303-411	Прямая проходная кабельная розетка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	142-9701-201	Прямые розетки PCB (высота выводов 3,94 и 2,79 мм)	
	142-9701-211		
	142-9701-301	Угловая розетка PCB	
142-9801-201	Прямая вилка PCB		
142-9701-801	Концевая розетка PCB с круглым выводом		
142-9701-811	Концевая розетка PCB с ленточным выводом		
N	138-9408-007	Прямая кабельная вилка (кабель RG-55/U, 142, 223, 400)	Диапазон частот: 0–11 ГГц. КСВН: 1,30 — прямые соединители; 1,35 — угловые соединители. Номинальное напряжение: 335 В. Вносимые потери: 0,15 дБ — прямые соединители; 0,30 дБ — угловые соединители. Экранное затухание: –90 дБ
	138-9449-007	Прямая кабельная вилка (кабель LMR-400, Belden 9913)	
	138-9408-107	Угловая кабельная вилка (кабель RG-55/U, 142, 223, 400)	
	138-9418-107	Угловая кабельная вилка (кабель RG-9/U, 214)	
	138-9308-407	Прямая проходная кабельная розетка (кабель RG-55/U, 142, 223, 400)	
	138-9349-407	Прямая проходная кабельная розетка (кабель LMR-400, Belden 9913)	

Соединители Rosenberger имеют большой срок службы, высокий уровень надежности и воспроизводимости.

Кроме того, Rosenberger выпускает серию соединителей SMP (13 наименований) с предельной частотой 40 ГГц (рассмотрены в работе [12]), а также соединители Insert Mini Coax с предельной частотой 4 ГГц (11 наименований), Insert Coax D-Sub с предельной частотой 2 ГГц (2 типа) и кабельные сборки.

Amphenol

Крупнейшая американская компания Amphenol, мировой лидер в области соединителей, также включилась в конкурентную борьбу за этот рынок. Производственная линия этой компании рассчитана на производство немагнитных соединителей типов SMB, MCX, MMCX (рис. 5).

Для всех трех типов соединение вилки и розетки происходит защелкиванием (snap-on) [1]. Amphenol выпускает соединители «вилка» и «розетка» под гибкий кабель, а также соеди-

нители для монтажа в отверстия печатной платы. Соединители SMB с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом по своим электрическим параметрам превосходят аналоги других компаний. Предельная частота соединителя SMB с волновым сопротивлением 50 Ом равна 10 ГГц (против 4 ГГц у соединителей других компаний). Более миниатюрными являются соединители MCX с предельной частотой 6 ГГц. Самыми миниатюрными соединителями MMCX называют также MicroMate TM. Соединители Amphenol соответствуют требованиям европейского стандарта CECC 22000 и директивы RoHS, поэтому они находят применение в различных областях техники (исследовательская аппаратура, связь и др.).

Huber + Suhner

Швейцарская компания Huber + Suhner также является одним из мировых лидеров в производстве радиочастотных соединителей для диапазона частот 0–65 ГГц, кабельных и кабельных сборок. В номенклатуру

Таблица 6. Немагнитные соединители Rosenberger

Тип соединителя	Фирменный номер	Особенности конструкции	Основные параметры
MCX	29S101-101L5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-178/U, 196)	Диапазон частот: 0–6 ГГц. КСВН: менее 1,20. Номинальное напряжение: 335 В. Вносимые потери: 0,1 дБ (1 ГГц)
	29S101-102L5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	29S201-301L5-NM	Угловая кабельная вилка (кабель RG-178/U, 196)	
	29S201-302L5-NM	Угловая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	29K101-40ML5-NM	Прямая розетка (поверхностный монтаж)	
	29K201-40ML5-NM	Угловая розетка (поверхностный монтаж)	
SMB	29K102-400L5-NM	Прямая розетка PCB	Диапазон частот: 0–4 ГГц. КСВН: менее 1,30. Номинальное напряжение: 250 В. Вносимые потери: 0,15√f _(ГГц)
	59K101-101L5-NM	Прямая кабельная розетка (кабель RG-178/U, 196)	
	59K106-102L5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	59K204-301L5-NM	Угловая кабельная розетка (кабель RG-178/U, 196)	
	59K214-302L5-NM	Угловая кабельная розетка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	59K214-303L5-NM	Угловая кабельная розетка (кабель RG-316/U-d, KO2252D и др.)	
SMA	59S101-400L5-NM	Прямая розетка PCB	Диапазон частот: 0–6 ГГц. КСВН: 1,15+0,02f _(ГГц) — прямые соединители. Номинальное напряжение: 480 В. Вносимые потери: 0,04√f _(ГГц)
	59S201-400L5-NM	Угловая розетка PCB	
	32K10A-40ML3-NM	Прямая розетка (поверхностный монтаж)	
	32K101-400L5-NM	Прямая розетка PCB	
	32K10N-400L5-NM	Прямая розетка PCB	
QMA	32S101-270L5-NM	Прямая кабельная вилка (полужесткий кабель RG-405/U, UT85)	Диапазон частот: 0–18 ГГц. КСВН: менее 1,05 — до 3 ГГц, менее 1,12 — от 3 до 6 ГГц. Номинальное напряжение: 480 В. Вносимые потери: 0,05√f _(ГГц)
	32K101-270L5-NM	Прямая кабельная розетка (кабель RG-405/U, UT85 и др.)	
	32S246-272L5-NM	Угловая кабельная вилка (полужесткий кабель RG-402/U, UT141)	
	28S147-102N5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	28S147-103N5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U-d, KO2252D и др.)	
	28S247-302N5-NM	Угловая кабельная розетка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	28S247-303N5-NM	Угловая кабельная розетка (кабель RG-316/U-d, KO2252D и др.)	
	28K101-40ML5-NM	Прямая розетка (поверхностный монтаж)	
BNC	28K201-400L5-NM	Угловая розетка PCB	Диапазон частот: 0–10 ГГц (максимальный); 0–4 ГГц (оптимальный). КСВН: менее 1,2. Номинальное напряжение: 400 В. Вносимые потери: 0,1√f _(ГГц)
	28K102-400L5-NM	Прямая розетка PCB	
	51S107-802N5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U, 188, 174)	
	51S107-803N5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-316/U-d, KO2252D и др.)	
	51S107-106N5-NM	Прямая кабельная вилка (кабель RG-58/U, 141)	
	51S207-303N5-NM	Угловая кабельная розетка (кабель RG-316/U-d, KO2252D и др.)	
	51S207-306N5-NM	Угловая кабельная розетка (кабель RG-58/U, 141)	

выпускаемых соединителей этой компании входят SMA, MCX, MMCX, SMB и другие. Соединители Huber + Suhner подробно рассмотрены в [14, 15].

Заключение

Рынок медицинской диагностической аппаратуры за последние 20 лет развивался быстрыми темпами. Многие компании со-

здали производственные линии по выпуску соединителей для этой аппаратуры, а также для аппаратуры, применяемой в научных исследованиях. Компании, чья продукция рассмотрена в данной статье, являются только частью большого числа производителей немагнитных соединителей.

В нашей стране немагнитные радиочастотные соединители пока еще не получили своего развития как из-за отсутствия массового

применения, так и по причине общего значительного отставания в этой области техники.

Автор выражает благодарность М. В. Чебунину за помощь в подготовке статьи к публикации.

Литература

- Джурицкий К. Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. 2-е изд. М.: Техносфера, 2006.
- Коновалов А. Н., Корниенко В. Н., Пронин И. Н. Магнитно-ядерный резонанс в нейрохирургии. М.: Видар, 1997.
- Новый политехнический словарь. М.: Большая Российская энциклопедия, 2000.
- www.radiall.com
- www.odu.com
- Вонсовский С. В. Современное учение о магнетизме. М.: Госиздательство технико-теоретической литературы, 1953.
- Джурицкий К. Б., Пищик О. В. Нержавеющие стали как немагнитный конструкционный материал для электровакуумных приборов // Вопросы радиоэлектроники. Сер. 1. Электроника, 1964, вып. 3.
- Джурицкий К. Покрyтия радиочастотных соединителей // Производство электроники. 2008. № 1.
- www.phoenixofchicago.com
- www.EmersonNetwork.com
- www.rosenberger.de
- Джурицкий К., Чебунин М. Соединители SMP. Новые возможности для микроэлектроники СВЧ // Компоненты и технологии. 2008. № 1.
- www.amphenol.com
- www.hubersuhner.com
- Джурицкий К., Гнутов А. Радиочастотные соединители фирмы Huber + Suhner. Часть 2. Приборные соединители // Компоненты и технологии. 2008. № 8.