

Потери мощности сигнала в радиочастотных соединителях

Кива Джурицкий (kbd.istok@mail.ru)

Проанализированы виды потерь мощности сигнала в радиочастотных соединителях. Рассмотрены физические процессы, обуславливающие возникновение возвратных и вносимых потерь, а также потерь рассогласования. Приведены сводные данные о параметрах радиочастотных соединителей. По данным ведущих зарубежных компаний показаны фактические потери в наиболее широко применяемых соединителях типов N, TNC, SMA, 2,9 мм и SMP.

Введение

При прохождении через радиочастотный соединитель неизбежно происходит ослабление и отражение сигнала. Это естественное явление, которое возникает при любом типе передачи. Мощность сигнала, поступающая в радиочастотный соединитель (входящая или падающая мощность), частично отражается обратно к источнику сигнала (отражённая мощность – Reflected Power). Поэтому отражённая мощность через соединитель не проходит и в нагрузку не поступает. Оставшаяся мощность сигнала поступает в соединитель, в котором часть её поглощается и передаётся в нагрузку (прошедшая мощность – Through Power).

Прошедшая мощность меньше входящей мощности по следующим причинам:

- 1) часть сигнала отражается, и возникают возвратные потери (Return Loss);
- 2) соединитель поглощает часть сигнала: появляются вносимые потери (Insertion Loss);
- 3) возникают потери рассогласования (Mismatch Loss, рис. 1).

Возвратные потери

Возвратные потери сигнала (обратные потери, англ. – Return Loss, RL) – это важный показатель, определяющий, какая часть мощности сигнала отражается от неоднородностей коаксиальной линии радиочастотного соединителя. Как показано на рис. 1, возвратные потери, в децибелах, представляют собой отношение входящей мощности к отражённой мощности. Наличие отражённого сигнала крайне нежелательно, так как он мешает прохождению основного сигнала.

Между возвратными потерями RL, коэффициентом отражения Γ и коэффициентом стоячей волны по напряжению КСВН существуют следующие соотношения [2, 3]:

$$RL \text{ (дБ)} = -20 \log [(КСВН-1) / (КСВН+1)] = -20 \log |\Gamma| \quad (1)$$

$$КСВН = 1 + |\Gamma| / (1 - |\Gamma|) \quad (2)$$

$$\Gamma = 10^{(-RL/20)} = (КСВН-1) / (КСВН+1) \quad (3)$$

$$КСВН = [1 + 10^{(-RL/20)}] / [1 - 10^{(-RL/20)}] = (1 + |\Gamma|) / (1 - |\Gamma|) \quad (4)$$

Зависимости КСВН и возвратных потерь от коэффициента отражения показаны на рис. 2 [3] (рис. 2).

КСВН и коэффициент отражения – это параметры, используемые для определения степени несоответствия между линией передачи и устройством. Наличие стоячих волн в радиочастотном соединителе означает, что часть падающего сигнала отражается от него обратно к источнику сигнала.

Коэффициент отражения является комплексной величиной. Однако в большинстве случаев применяют модуль коэффициента отражения $|\Gamma|$. Исходя из физического смысла, модуль коэффициента отражения изменяется в пределах от 0 до 1. Зная результаты измерения коэффициента отражения, можно рассчитать величины отражённой мощности $P_{отр}$ и переданной мощности $P_{пер}$:

$$P_{отр}, \% = 100|\Gamma|^2 \quad (5)$$

$$P_{пер}, \% = 100(1 - |\Gamma|^2) \quad (6)$$

Высокая величина возвратных потерь коррелируется с низкими значениями КСВН и коэффициента отражения.

Высокие возвратные потери соответствуют более низким вносимым потерям. Например, при типичном для радиочастотных соединителей значении возвратных потерь 20 дБ, соединитель отражает только 1% мощности и передаёт в нагрузку 99% мощности. Если обратные потери составляют 10 дБ, соединитель отражает 10% мощности.

В целом, возвратные потери показывают, насколько хорошо соединитель и нагрузка соответствуют друг другу.

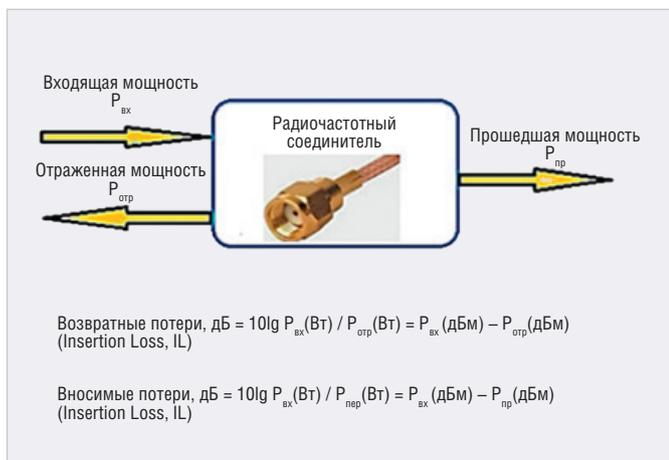


Рис. 1. Возвратные и вносимые потери радиочастотного соединителя

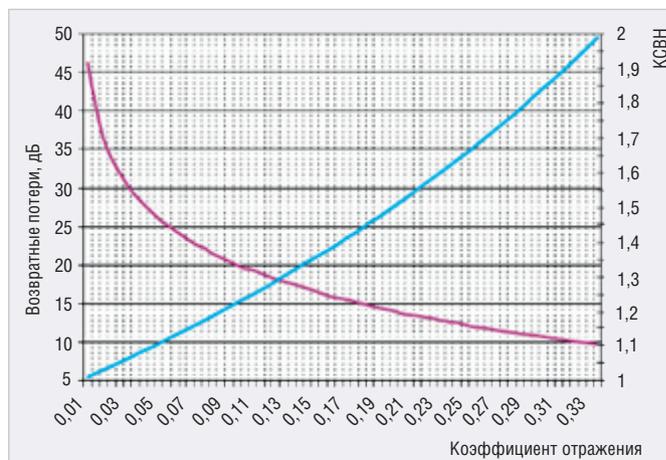


Рис. 2. Зависимости КСВН (—) и возвратных потерь (—) от коэффициента отражения

Вносимые потери

Вносимые потери (англ. – Insertion Loss, IL, Transmission loss, Attenuation) – это потеря мощности сигнала, возникающая в соединителе при его включении в линию передачи. Вносимые потери определяются отношением входящей в соединитель мощности к мощности, переданной им в нагрузку [4]. Потери в радиочастотном соединителе α складываются из потерь в металлических проводниках коаксиальной линии $\alpha_{мет}$ и диэлектрических потерь $\alpha_{диэл}$ в изоляторе соединителя:

$$\alpha \text{ (дБ/м)} = \alpha_{мет} + \alpha_{диэл} \quad (7)$$

Потери в проводниках равны:

$$\alpha_{мет} = \frac{1,98 \times 10^{-5} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)}{\log \frac{D}{d}} \sqrt{\epsilon \times \mu \times \rho \times f} \quad (8)$$

Потери в диэлектрике:

$$\alpha_{диэл} = 9,08 \times 10^{-8} \times f \times \text{tg} \delta \times \sqrt{\epsilon} \quad (9)$$

где d и D – диаметры внутреннего и наружного проводников коаксиальной линии соединителя ϵ и $\text{tg} \delta$ – относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь изолятора; μ – магнитная проницаемость материалов проводников; ρ – удельное электрическое сопротивление материалов проводников, Ом·мм²/м; f – частота.

Потери в проводниках пропорциональны \sqrt{f} и определяются размерами проводников, свойствами металлов, из которых они изготовлены, и покрытиям проводников. При этом около 80% всех потерь приходится на потери на внутреннем (центральном) проводнике соединителя [7]. Наилучшим покрытием проводников является золото и его сплавы с кобальтом или никелем (для повышения износоустойчивости). Толщина золотого покрытия должна быть такой, чтобы покрыть все неровности металлических поверхностей и быть больше толщины «скин-слоя», так как на высоких частотах ток проходит только в поверхностном слое металла – «скин-слое». Глубина «скин-слоя» тем меньше, чем выше частота, больше магнитная проницаемость и проводимость металла (табл. 1) [8].

Толщина золотого покрытия для соединителей, работающих в умеренных условиях окружающей среды, может быть выбрана в пределах 0,75...1,25 мкм.

Потери в диэлектрике (релаксационные, резонансные, миграционные, ионизационные) линейно зависят от частоты, определяются его диэлектри-

Таблица 1. Среднеарифметическое отклонение профиля поверхности и глубина «скин-слоя» золота

Класс чистоты	Среднеарифметическое отклонение профиля поверхности, мкм	Частота, ГГц	Глубина «скин-слоя», мкм
$\sqrt{5}$	5,0	1	2,38
$\sqrt{6}$	2,5	10	0,75
$\sqrt{7}$	1,25	18	0,56
$\sqrt{8}$	0,63	40	0,38
$\sqrt{9}$	0,32	65	0,30

ческими свойствами и не зависят от диаметров проводников коаксиальной линии соединителя. Потери в соединителях резко возрастают с увеличением частоты. На низких частотах потери в проводниках превышают диэлектрические потери. Однако диэлектрические потери увеличиваются с большей скоростью, чем потери в проводниках, и, начиная с частоты, близкой к 10 ГГц, основной вклад в величину потерь вносят потери в диэлектрике (рис. 3) [9].

С увеличением частоты диаметры коаксиальной линии соединителей становятся всё меньше, а уровень потерь в соединителях всё выше.

Знание величин вносимых и возвратных потерь позволяет оценивать эффективность прохождения сигнала в радиочастотном соединителе. Вносимые и возвратные потери измеряют с помощью векторных анализаторов цепей и представляют в виде S-параметров четырёхполюсника. Следует только заметить, что параметры S_{21} и S_{12} нельзя полностью отождествлять с вносимыми потерями. Они были бы равны вносимым потерям, если бы соединитель и нагрузка соответствовали одному и тому же волновому сопротивлению, чего часто не бывает на практике [2].

Потери рассогласования

Существует и ещё одна причина снижения мощности, поступившей из соединителя в нагрузку в случае рассогласования их волновых сопротивлений. Возникают так называемые «потери рассогласования» (Mismatch Loss). Можно согласиться с автором работы [5], что это термин неудачный и несколько запутывает суть дела. На самом деле это не безвозвратный уход мощности куда-то «на сторону», а всего лишь показатель того, что соединитель, не будучи нагружен на оптимальное волновое сопротивление, не отдаёт в нагрузку всю ту мощность, на которую он способен. То есть это не потери в соединителе, а просто снижение мощности сигнала,

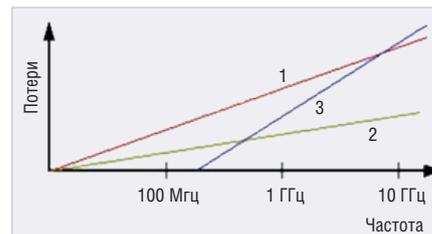


Рис. 3. Потери: 1 – во внутреннем проводнике, 2 – наружном проводнике и 3 – в диэлектрике радиочастотного соединителя

передаваемой соединителем в нагрузку, так как максимальную мощность можно передать, только если сопротивление источника равно сопротивлению нагрузки. Линия передачи, которая оканчивается нагрузкой, волновое сопротивление которой такое же, как у этой линии, не имеет отражений и, следовательно, потерь на рассогласование.

Таким образом, потери рассогласования (Mismatch Loss, ML) – это величина мощности, выраженная в децибелах, которая не будет доступна на выходе соединителя из-за различия волнового сопротивления соединителя и нагрузки:

$$ML \text{ (дБ)} = 10 \log (1 - |\Gamma|^2) \quad (10)$$

или

$$ML \text{ (дБ)} = 10 \log (1 - (\text{КСВН} - 1) / (\text{КСВН} + 1)^2) \quad (11)$$

Каков же уровень величины потерь рассогласования? Допустим, что соединитель имеет большую величину КСВН, равную 2,1. Рассчитанная по формуле (11) величина потерь рассогласования будет равна 0,584 дБ. При этом возвратные потери будут 9 дБ и отражённая мощность 12,59%. В реальных устройствах потери рассогласования обычно относительно небольшие и не превышают 1 дБ.

Сводные данные о параметрах радиочастотных соединителей представлены американской компанией Marki Microwave (табл. 2) [3]. В табл. 2 показана взаимосвязь возвратных потерь, КСВН, коэффициента отражения, потерь рассогласования, отражённой и переданной мощностей соединителей.

Таблица 2. Параметры радиочастотных соединителей

Возвратные потери, дБ	KСВн	Кэффициент отражения (Г)	Потери рассогласования, дБ	Отражённая мощность, %	Прошедшая мощность, %
1	17,39	0,891	6,868	79,43	20,57
2	8,72	0,794	4,329	63,1	36,9
3	5,85	0,708	3,021	50,12	49,88
4	4,42	0,631	2,205	39,81	60,19
5	3,57	0,562	1,651	31,62	63,38
6	3,01	0,501	1,256	25,12	74,88
7	2,61	0,447	0,967	19,95	80,05
8	2,32	0,398	0,749	15,85	84,15
9	2,1	0,355	0,584	12,59	87,41
10	1,92	0,316	0,458	10	90
11	1,78	0,282	0,359	7,94	92,06
12	1,67	0,251	0,283	6,31	96,84
13	1,58	0,224	0,223	5,01	94,99
14	1,5	0,2	0,176	3,98	96,02
15	1,43	0,178	0,14	3,16	96,84
16	1,33	0,158	0,11	2,51	97,49
17	1,33	0,141	0,088	2	98
18	1,29	0,126	0,069	1,58	98,42
19	1,25	0,112	0,055	1,26	98,74
20	1,22	0,1	0,044	1	99
21	1,2	0,089	0,035	0,79	99,21
22	1,17	0,079	0,027	0,63	99,37
23	1,15	0,071	0,022	0,5	99,5
24	1,13	0,063	0,017	0,4	99,6
25	1,12	0,056	0,014	0,32	99,68
26	1,11	0,05	0,011	0,25	99,75
27	1,09	0,045	0,009	0,2	99,8
28	1,08	0,04	0,007	0,16	99,84
29	1,07	0,035	0,005	0,13	99,87
30	1,07	0,032	0,004	0,1	99,9
31	1,06	0,028	0,003	0,08	99,92
32	1,05	0,025	0,003	0,06	99,94
33	1,05	0,022	0,002	0,05	99,95
34	1,04	0,02	0,002	0,04	99,96
35	1,04	0,018	0,001	0,03	99,97
36	1,03	0,016	0,001	0,03	99,97
37	1,03	0,014	0,001	0,02	99,98
38	1,03	0,013	0,001	0,02	99,98
39	1,02	0,011	0,001	0,01	99,99
40	132	031	0	031	99,99

Потери в радиочастотных соединителях основных типов

В настоящее время разработаны радиочастотные соединители более 50 типов, предназначенные для работы в диапазоне частот 0...145 ГГц. Кроме того, соединители имеют много разно-

видностей: с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом, вилка и розетка, прямые и угловые, фланцевые панельные и проходные, кабельные под гибкий и полужёсткий кабель, для поверхностного монтажа, выводы энергии и коаксиально-микроросовые переходы. Сое-



Рис. 4. Соединители типа N: 1 – прямая кабельная розетка, 2 – прямая кабельная вилка, 3 – угловая кабельная вилка, 4 – проходная панельная розетка, 5 – фланцевая панельная кабельная розетка, 6 – фланцевый КМПП

динители выпускают несколько сотен зарубежных компаний США, Европы и Юго-Восточной Азии. Электрические параметры соединителя даже одного и того же типа производства разных компаний могут существенно отличаться друг от друга.

Поэтому ограничимся рассмотрением данных о потерях наиболее широко применяемых соединителей СВЧ-диапазона с волновым сопротивлением 50 Ом: N, TNC, SMA, 2,92 мм и SMP, выпускаемых пятью ведущими компаниями, к которым относятся Amphenol (США) [10], Rosenberger (Германия) [11], Koaxis (США) [12], Radiall (Франция) [13] и Cinch Connectivity Solutions (США) [14].

Соединители N

Соединители N: кабельные вилка и розетка, прямые, угловые, проходные и фланцевые панельные под гибкий и полужёсткий кабели, выводы энергии и КМПП показаны на рис. 4 [8, 10...15].

Стандартные соединители N имеют предельную частоту 11 ГГц. Предельная рабочая частота соединителей N улучшенной конструкции – 18 ГГц. Величина потерь в соединителях типа N разных конструктивных исполнений приведена в табл. 3.

Соединители TNC

Соединители TNC: кабельные вилки и розетки проходные и фланцевые панельные: прямые и угловые под гибкий кабель RG174, RG225, RG316, LMR-100A и полужёсткий кабель 0,086", 0,141" и 0,250", выводы энергии, включая выводы для установки в отверстия печатных плат, а также КМПП показаны на рис. 5 [8].

Предельная частота стандартных соединителей TNC – 11 ГГц, соединителей TNC военного назначения – 18 ГГц. Величина потерь в соединителях TNC разных компаний приведена в табл. 3. Для соединителей TNC военного назначения величина потерь равна 0,06 дБ в диапазоне частот 0...18 ГГц [10].

Таблица 3. Величина потерь в радиочастотных соединителях разных компаний

Тип соединителя	Величина потерь, дБ, соединителей разных компаний (на частоте f , ГГц)				
	Amphenol	Rosenberger	Koaxis	Radiall	Cinch Connectivity Solutions
N	Кабельные. Кабель полужёсткий. Прямые $-0,15$ (18), угловые: $-0,10$ (3), гибкий: $-0,30$ (9). Выводы энергии, КМПП: $0,15$ макс.	Кабельные. Кабель полужёсткий: $\leq 0,05$, гибкий: $\leq 0,05$. Выводы энергии, КМПП: $\leq 0,05$ (8)	Кабельные. Кабель полужёсткий. Прямые: $-0,03\sqrt{f}$ (0...18), угловые, кабель гибкий: $0,03\sqrt{f}$ (0...11)	Кабельные прямые: $\leq 0,05\sqrt{f}$, угловые: $\leq 0,1\sqrt{f}$. Выводы энергии, КМПП: $\leq 0,015$	Кабельные. Кабель полужёсткий: $0,05\sqrt{f}$, гибкий прямые: $-0,15$ (9), угловые: $-0,30$ (9)
TNC	Кабельные. Прямые: $-0,18$ макс. (9), угловые: $-0,21$ макс. (9). Для соединителей других модификаций: $-0,06\sqrt{f}$	Кабельные: $\leq 0,05$ Выводы энергии. Розетка панельная фланцевая: $0,1\sqrt{f}$ (0...10), проходная: $0,05\sqrt{f}$ (0...4)	Кабельные. Кабель полужёсткий. Прямые: $0,03\sqrt{f}$ (0...18); $0,13$ (18), гибкие: $-0,03\sqrt{f}$ (0...14)	Кабельные. Прямые, угловые: $0,06\sqrt{f}$ (0...18). Выводы энергии, КМПП: $\leq 0,06\sqrt{f}$ (0...18).	Нет данных
SMA	Кабельные. Прямые: $-0,1$ макс. (18), угловые: $-0,3$ макс. (18). КМПП: $-0,06\sqrt{f}$ (0...18)	Кабельные. Кабель полужёсткий: $\leq 0,03\sqrt{f}$ (0...18), гибкий: $\leq 0,03\sqrt{f}$ (0...5). КМПП: $0,04\sqrt{f}$ (0...18)	Кабельные прямые. Кабель полужёсткий: $0,03\sqrt{f}$ (0...26,5); $0,16$ макс. (26,5), гибкие: $0,03\sqrt{f}$ (0...11), $0,127$ (11)	Кабельные. Кабель полужёсткий. Прямые $-0,1$ (18), угловые: $-0,08$ (12,4), гибкие: $\leq 0,06\sqrt{f}$ (0...18). Выводы энергии, КМПП: $\leq 0,05\sqrt{f}$ (0...18).	Кабельные прямые. Кабель полужёсткий: $\leq 0,06\sqrt{f}$ (0...16), гибкий прямые: $\leq 0,06\sqrt{f}$ (0...6), угловые: $\leq 0,15\sqrt{f}$ (0...6)
2,92 мм	Кабельные. Полужёсткий кабель $0,086''$: $-0,03\sqrt{f}$ (0...11)	Кабельные. Кабель полужёсткий. Прямая вилка, розетка: $-0,04\sqrt{f}$ (0...40)	Кабельные вилки и прямые, проходные и панельные розетки. Кабель полужёсткий: $0,03\sqrt{f}$ (0...40)	Кабельные, кабель полужёсткий. Выводы энергии, КМПП: $0,03\sqrt{f}$ (0...40)	Прямые кабельные вилки и розетки под полужёсткий кабель: $\leq 0,06\sqrt{f}$ (0...40), КМПП: $\leq 0,06\sqrt{f}$ (0...40)
SMP	Кабельные прямые, выводы, адаптеры «bullet»: $-0,1\sqrt{f}$ (0...40), угловые: $0,12\sqrt{f}$ (0...26,5)	Кабельные прямые, выводы, адаптеры «bullet»: $0,1\sqrt{f}$ вилка кабельная угловая, вилки для монтажа на печатную плату: $0,05\sqrt{f}$ (0...26,5)	Кабельные. Кабель полужёсткий. Прямые $0,03$ (0...40), угловые $-0,03$ (0...18)	Кабельные. Прямые, адаптеры «bullet»: $0,12\sqrt{f}$ (0...40), угловые: $0,12\sqrt{f}$ (0...26,5)	Кабельные розетки под полужёсткий кабель. Прямые: $\leq 0,12\sqrt{f}$ (0...40), угловые: $\leq 0,12\sqrt{f}$ (0...26,5)



Рис. 5. Соединители TNC: 1 – прямая кабельная розетка, 2 – прямая кабельная вилка, 3 – угловая кабельная вилка, 4 – проходная панельная розетка, 5 – фланцевая панельная кабельная розетка, 6 – КМПП

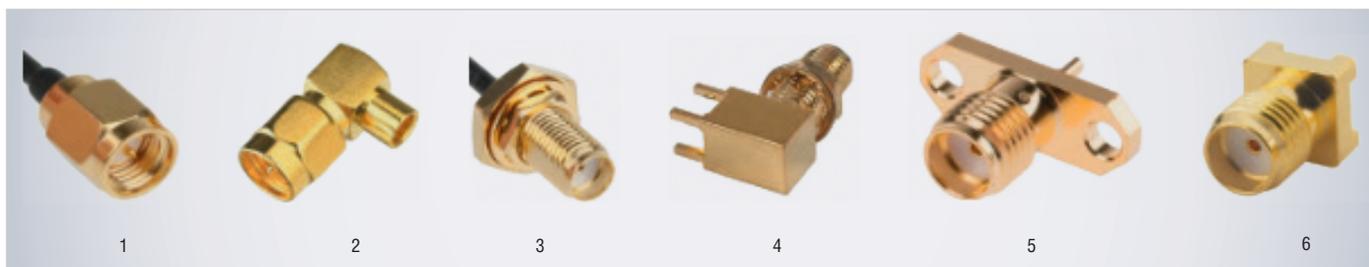


Рис. 6. Соединители SMA: 1 – прямая кабельная вилка, 2 – угловая кабельная вилка, 3 – проходная кабельная розетка, 4 – КМПП, 5 – угловой вывод энергии розетка, 6 – вывод энергии розетка для поверхностного монтажа

Соединители SMA

Предельная рабочая частота стандартных соединителей SMA – 18 ГГц. Соединители SMA улучшенной конструкции имеют предельную частоту 26...27 ГГц и даже 34 ГГц [15]. Соединители SMA улучшенной конструкции в настоящее время выпускают несколько десятков зарубежных компаний. Внешний вид соединителей SMA разных конструктивных исполнений показан на рис. 6, а величина

на потерь в них приведена в табл. 3 [10...14].

Соединители 2,92 мм

Прецизионные резьбовые соединители 2,92 мм (другое название – соединители К, SMK) имеют предельную рабочую частоту 40 ГГц. Предельная теоретическая частота этих соединителей равна 45 ГГц. Внешний вид соединителей 2,92 мм разных конструктивных исполнений показан на рис. 7,

а величина потерь в них приведена в таблице 2 [10...14].

Соединители SMP

Создание компанией Gilbert Corning (США) в 1980-х годах соединителей SMP ознаменовало собой освоение миллиметрового диапазона длин волн микроминиатюрными радиочастотными соединителями, работающими по принципу защелкивания (Push-On, Snap-On). Благодаря миниатюрности и



Рис. 7. Соединители 2,92 мм: 1 – розетка кабельная под полужёсткий кабель, 2 – вилка кабельная под полужёсткий кабель, 3 – вилка кабельная угловая под полужёсткий кабель, 4 – КМПП розетка, 5 – фланцевый вывод энергии розетка, 6 – концевая розетка для установки на печатную плату



Рис. 7. Соединители 2,92 мм: 1 – розетка кабельная под полужёсткий кабель, 2 – вилка кабельная под полужёсткий кабель, 3 – вилка кабельная угловая под полужёсткий кабель, 4 – КМПП розетка, 5 – фланцевый вывод энергии розетка, 6 – концевая розетка для установки на печатную плату

высоким электрическим параметрам (предельная частота 40 ГГц) эти соединители нашли применение в сложных многофункциональных СВЧ-модулях с высокой плотностью компоновки [7]. Внешний вид соединителей SMA разных конструктивных исполнений показан на рис. 8, а величина потерь в них приведена в табл. 2 [10...14].

Обсуждение результатов

Величина вносимых потерь, характеризующая степень потери мощности СВЧ-сигнала при его прохождении в соединителе, наряду с КСВН является важнейшим параметром радиочастотных соединителей. Однако оказалось, что не так просто найти пять компаний (а их в мире более сотни), которые в спецификациях на выпускаемые соединители всех выбранных нами типов привели этот параметр. Величины вносимых потерь зарубежных соединителей разных компаний значительно отличаются. Это связано с разным частотным диапазоном измерения и методикой измерения потерь.

Величина потерь прямо пропорциональна корню квадратному из частоты, поэтому в соединителях миллиметрового диапазона длин волн (2,92 мм и SMP) потери больше, чем у соединителей с меньшей предельной частотой (N, TNC, SMA). Общий вывод из анализа данных табл. 3 состоит в том, что в соединителях СВЧ-диапазона потери составляют несколько десятых долей децибела. При типичной величине потерь радиочастотного соединителя

0,25 дБ переданная соединителем мощность сигнала равна 94,3% от величины входящей в него мощности.

Заключение

Радиочастотные соединители широко применяют в системах связи, вещания, в измерительном и испытательном оборудовании, в различных коммерческих и военных системах. При выборе соединителя необходимо учитывать один из его основных электрических параметров – величину вносимых потерь в рабочем диапазоне частот. Однако этот параметр нередко отсутствует в спецификациях на зарубежные радиочастотные соединители. В действующем отечественном стандарте ГОСТ 20465-85 «Соединители радиочастотные коаксиальные. Общие технические условия» также нет требования к величине вносимых потерь в радиочастотных соединителях.

Отсутствие этого параметра в спецификациях на радиочастотные соединители трудно объяснить, так как его определяют одновременно с КСВН соединителя при измерениях с помощью векторного анализатора цепей.

Литература

1. Insertion Loss vs. Return Loss: Signal Transmission and Reflection. Cadence PCB Solutions Cadence Design Systems, Inc. // URL: <https://www.cadence.com>.
2. Understanding Cable & Antenna Analysis White Paper // URL: <https://dataedge.ie>.
3. Marki Microwave RF & Microwave. Return Loss to VSWR Conversion Table.

4. IEC 61169-1-2:2019 – Radio-frequency connectors // URL: <https://standards.iteh.ai/catalog>.
5. *Завалин И.* Проблемы высокоскоростной передачи данных. Соединители стандарта VPX. Требования к высокоскоростной передаче данных // Вестник электроники. 2018. № 1(61).
6. *Андросов А.В., Джурицкий К.Б.* Герметичные СВЧ-вводы для микроэлектроники. Ч. 2. Электрические параметры СВЧ-вводов и методика их измерения «Электроника» // НТБ. 2013. № 5 (00127). С. 84–90.
7. *Джурицкий К.Б.* Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / под ред. д.т.н. А.А. Борисова. СПб.: Изд-во ЗАО «Медиа Групп Файнстрит», 2014. 426 с.
8. *Джурицкий К.Б.* Покрытия радиочастотных соединителей // Современная электроника. 2020. № 3. С. 30–41.
9. *Cabak J.* RF Connectors and Cables, June 9, 2014 // URL: <https://www.rfcafe.com>.
10. Amphenol RF: RF Coaxial Connectors, Adapters and Cable // URL: <https://www.amphenolrf.com>.
11. Rosenberger Product Catalog // URL: <https://products.rosenberger.com>.
12. Coaxial RF Connectors – Koaxis // URL: <https://koaxis.com>.
13. RF Coaxial Connectors Catalogs | Radiall // URL: <https://www.radiall.com>.
14. RF & Microwave Connectors & Cable Assemblies – Bel Fuse // <https://www.belfuse.com>.
15. *Джурицкий К.Б.* Соединители SMA с предельной частотой до 34 ГГц. Эволюция продолжается // Современная электроника. 2021. № 4. С. 32–35.



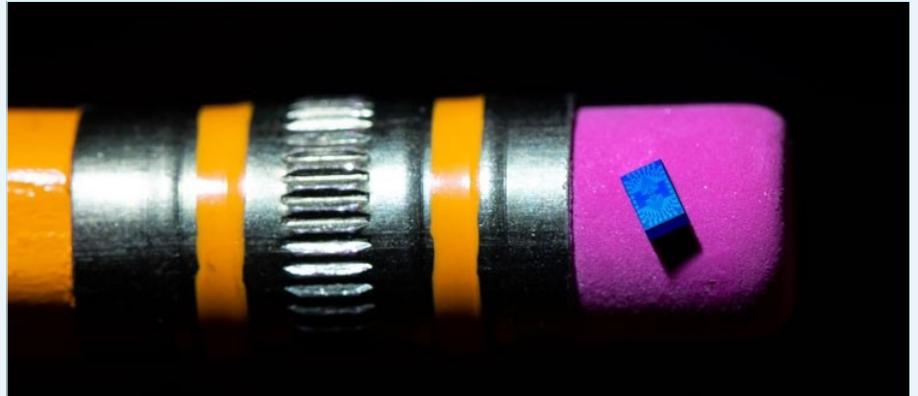
НОВОСТИ МИРА

INTEL ОБЪЯВИЛА О ГОТОВНОСТИ К МАССОВОМУ ПРОИЗВОДСТВУ КВАНТОВЫХ ПРОЦЕССОРОВ НА КРЕМНИЕВЫХ КУБИТАХ

Компания Intel совместно с нидерландским исследовательским центром QuTech добилась промышленного уровня производства квантовых процессоров на кремниевых кубитах. Прорыв совершён на предприятии компании Intel D1 в Хиллсборо, штат Орегон. Процессоры производятся с использованием классических КМОП-техпроцессов на 300-мм подложках с высочайшим уровнем выхода годных чипов – более 95 %.

С каждой пластины получается до 10 тыс. квантовых процессоров – этого хватит для удовлетворения любых нужд в новинке. Компания не уточняет, сколько кубитов в составе процессора и как он организован (линейный массив или объёмный). Ранее Intel на заводе D1 в Хиллсборо выпускала процессоры из одного и двух кремниевых кубитов и планировала представить 7- и 17-кубитовые сборки.

Квантовые процессоры Intel и QuTech выпускаются на изотопно-чистых кремниевых



пластинах. На роль кубитов выбраны электроны, спины которых (собственный момент импульса) находятся в состоянии квантовой суперпозиции. Спины одновременно ориентированы во всех направлениях и могут быть с определённой вероятностью идентифицированы как 1, 0 и все промежуточные состояния, что экспоненциально ускоряет определённые расчёты.

Компания Intel вместе со специалистами QuTech уже показала способность предложенных партнёрами квантовых процессоров выполнять произвольные алгоритмы, что

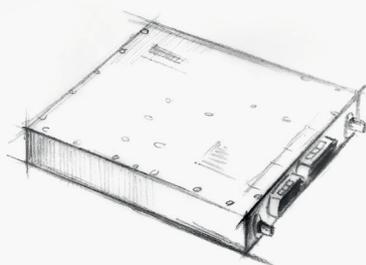
обещает появление универсальных квантовых компьютеров.

«Квантовые вычисления способны обеспечить экспоненциальную производительность для определённых приложений в области высокопроизводительных вычислений, – сказал Джеймс Кларк (James Clarke), директор по квантовому оборудованию Intel. – Наше исследование доказывает, что полномасштабный квантовый компьютер не только достижим, но и может быть произведён на современной фабрике по производству чипов».

3dnews.ru

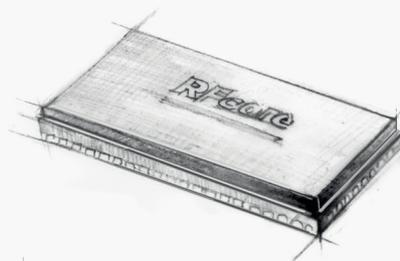


НОВЫЕ МОЩНОСТИ — НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



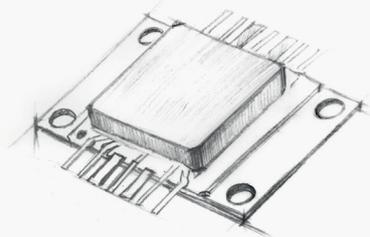
СВЧ-усилители мощности

- Диапазон частот: от HF до Ku
- Выходная мощность: 2...1000 Вт
- Типовое усиление: 25...65 дБ
- Рабочее напряжение: 28, 40 В



Многофункциональные CMOS MMIC

- Диапазон частот: S, C, X, Ku
- Выходная мощность: до 15 Вт
- Исполнение: QFN-корпус



GaN и GaAs MMIC

- Диапазон частот: 2...18 ГГц
- Выходная мощность: до 12 Вт
- Типовое усиление: 10...23 дБ
- Исполнение: QFN-корпус/кристалл

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

АКТИВНЫЙ КОМПОНЕНТ ВАШЕГО БИЗНЕСА
(495) 232-2522 ■ INFO@PROCHIP.RU ■ WWW.PROCHIP.RU

PROCHIP