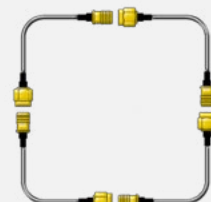


2021

© RUCONNECTORS

Краткий справочник

Полезные таблицы, статьи и формулы,
применяемые в расчетах СВЧ тракта



АО АНТЕКС

2008

Акционерное общество «Антенные технологии и комплексные системы» (АО «АНТЕКС») было основано в 2008 году. Изначально Компания занималась разработкой программного обеспечения и антенных систем, а также проведением НИР и ОКР по данным направлениям в интересах МО РФ.

2010

В 2010 году АО «АНТЕКС» начало параллельно развивать деятельность по разработке и производству пассивных компонентов СВЧ тракта с целью замещения импортных аналогов.

2019

С апреля 2019 года АО «АНТЕКС» вошло в состав особой экономической зоны технико-внедренческого типа «Исток» (**ОЭЗ ТВТ «Исток»**), поставив перед собой новые приоритетные задачи, а именно: разработка и освоение серийного производства фазостабильных коаксиальных кабелей и сборок кабельных на их основе с категорией качества ВП.

2021

На сегодняшний день АО «АНТЕКС» уже выпускает номенклатуру, позволяющую не только заместить импортную продукцию, но и не имеющую аналогов. Перспективные разработки АО «АНТЕКС» в данном направлении ориентированы, прежде всего, на потребности предприятий ОПК РФ.

Основными направлениями Акционерного общества «Антенные технологии и комплексные системы» являются разработка, производство и поставка:

- **Фазостабильных радиочастотных кабелей СВЧ диапазона** (широкий номенклатурный перечень, максимальная рабочая частота до 140 ГГц, минимальная температура эксплуатации -196 °С, максимальная температура эксплуатации +270 °С, радиационно-стойкое исполнение фазостабильных кабелей по требованию Заказчика);
- **Сборок кабельных радиочастотных** (фазирование комплекта сборок по электрической длине, армирование, максимальная рабочая частота до 67 ГГц, широкая номенклатура типов соединителей (III, IX, V, IV, N, II, SMA, Mini-SMP, SMP, TNC, QMA, 7/16, 2.92мм, 1.85мм и другие);
- **Соединителей и переходников радиочастотных** (из немагнитных и радиационно-стойких материалов, в герметичном исполнении, прецизионные из стали нержавеющей, латунные ВЧ/СВЧ диапазона, широкая номенклатура типов соединителей (III, IX, V, IV, N, II, SMA, Mini-SMP, SMP, TNC, QMA, 7/16, 2.92мм, 1.85мм и другие);
- **СВЧ компонентов и аксессуаров** (прецизионные компоненты из латуни и стали нержавеющей, аттенюаторы, нагрузки согласованные, нагрузки холостого хода, нагрузки короткого замыкания и другие, ключи поддерживающие и тарированные, заглушки для соединителей, переходников);
- **Радиочастотной кабельной продукции широкого потребления** (ультрагибкие, гибкие, полугибкие, полужесткие кабели серий: RUC-SF, RUC-SR, RUC-RG, RUC-D-FB и других);
- **Сборок кабельных на соединителях производства ПАО «Завод «АТЛАНТ»** (замещение изделий импортного производства, совместимость с ответными частями импортного оборудования).

Вся продукция АО «АНТЕКС» изготавливается как по собственным ТУ, так и по документации/требованиям Заказчика.

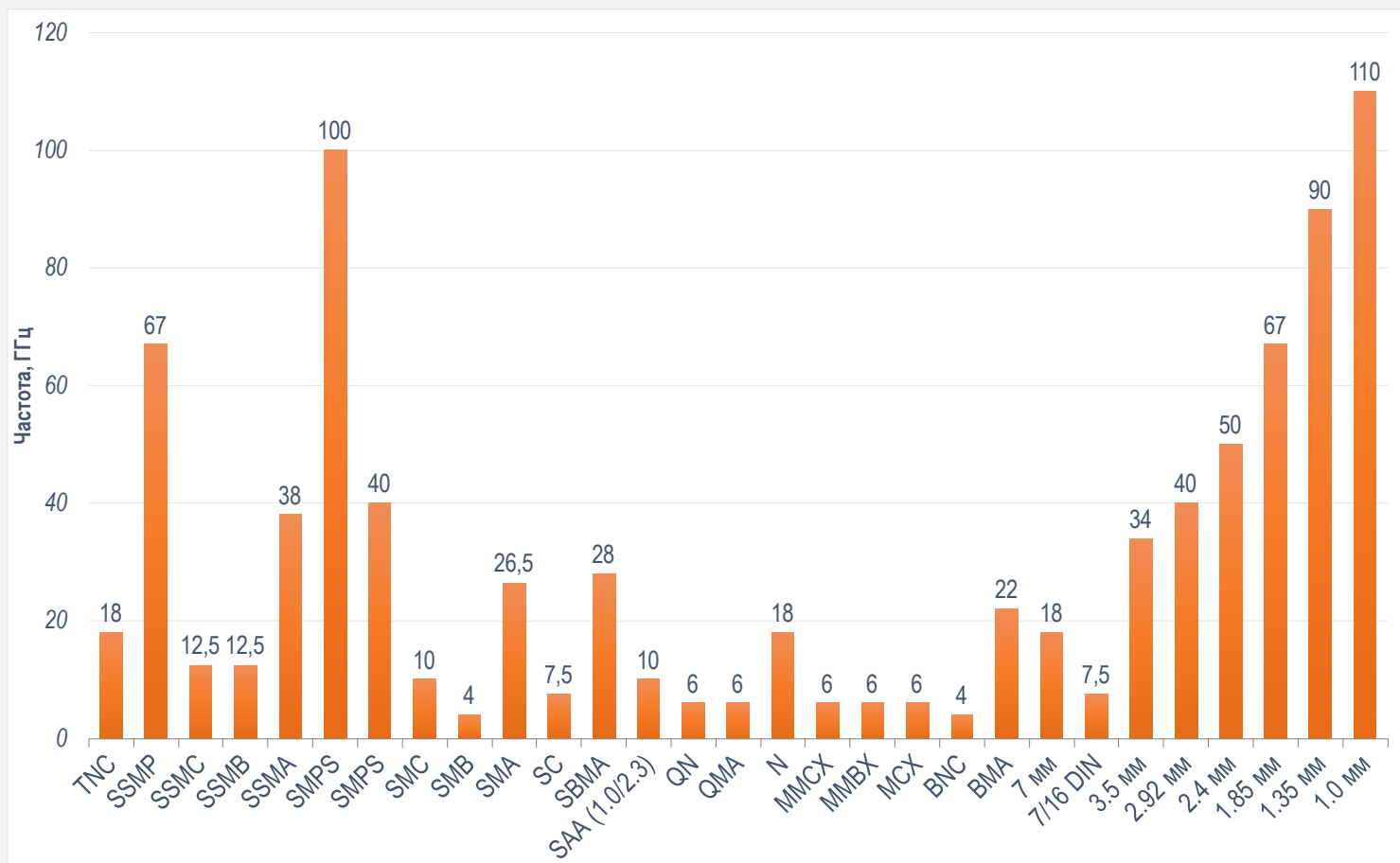
Содержание

Распределение диапазонов рабочих частот	4
Верхние границы рабочих диапазонов частот соединителей	4
Волноводы EIA и IEC	5
Волноводы ГОСТ 51914-2002	5
IP (Степени защиты, обеспечиваемые оболочками)	6
Таблица преобразования коэффициента стоячей волны	9
Таблица совместимости типов соединителей	10
Таблица зависимости средней пропускаемой мощности от частоты	10
График зависимости средней пропускаемой мощности от частоты	11
Некоторые формулы СВЧ техники	12
Свойства изоляционных материалов	13

Распределение диапазонов рабочих частот

Обозначение диапазона	Частотный диапазон	Длины волн	Типовые области применения
HF	3-30 МГц	Десятиметровые	Беспроводная связь СВ трансляция
VHF	30-300 МГц	Метровые	Радионавигация Радиотрансляция
UHF	300-1000 МГц	Дециметровые	GSM/WCDMA/SCDMA/LTE WLAN/Bluetooth, WIMAX GPS DVB RFID
L	1-2 ГГц		
S	2-4 ГГц		
C	4-8 ГГц	Сантиметровые	Спутниковое вещание Метеорологические спутники Спутники исследования земли Радары Радио-астрономия
X	8-12 ГГц		
Ku	12-18 ГГц		
K	18-27 ГГц		
Ka	27-40 ГГц	Миллиметровые	Радары Радио-астрономия
V	40-75 ГГц		
W	75-110 ГГц	Децимиллиметровые	Спутниковая связь
mm	110-300 ГГц		

Верхние границы рабочих диапазонов частот соединителей



Волноводы EIA и IEC

EIA	RCSC	IEC	Диапазон частот, ГГц	Сечение, мм
WR650	WG6	R14	1,15 - 1,72	165,10 x 82,55
WR510	WG7	R18	1,45 - 2,20	129,54 x 64,77
WR430	WG8	R22	1,72 - 2,60	109,22 x 54,61
WR340	WG9A	R26	2,20 - 3,30	86,36 x 43,18
WR284	WG10	R32	2,60 - 3,95	72,14 x 34,04
WR229	WG11A	R40	3,30 - 4,90	58,17 x 29,21
WR187	WG12	R48	3,95 - 5,85	47,55 x 22,15
WR159	WG13	R58	4,90 - 7,05	40,39 x 20,19
WR137	WG14	R70	5,85 - 8,20	34,85 x 15,80
WR112	WG15	R84	7,05 - 10,00	28,50 x 12,62
WR90	WG16	R100	8,20 - 12,40	22,90 x 10,16
WR75	WG17	R120	10,00 - 15,00	19,05 x 9,52
WR62	WG18	R140	12,40 - 18,00	15,78 x 7,90
WR51	WG19	R180	15,00 - 22,00	12,95 x 6,48
WR42	WG20	R220	18,00 - 26,50	10,67 x 4,32
WR34	WG21	R260	22,00 - 33,00	8,64 x 4,32
WR28	WG22	R320	26,50 - 40,00	7,11 x 3,56
WR22	WG23	R400	33,00 - 50,00	5,69 x 2,84
WR19	WG24	R500	40,00 - 60,00	4,78 x 2,39
WR15	WG25	R620	50,00 - 75,00	3,76 x 1,88
WR12	WG26	R740	60,00 - 90,00	3,10 x 1,55
WR10	WG27	R900	75,00 - 110,00	2,54 x 1,27

Волноводы ГОСТ 51914-2002

Диапазон частот, ГГц	Сечение, мм
1,72 - 2,59	110,00 x 55,00
2,14 - 3,20	90,00 x 45,00
2,59 - 3,94	72,00 x 34,00
3,20 - 4,80	58,00 x 25,00
3,94 - 5,64	48,00 x 24,00
4,80 - 6,85	40,00 x 20,00
5,64 - 8,15	35,00 x 15,00
6,85 - 9,93	28,50 x 12,60
8,15 - 12,05	23,00 x 10,00
9,93 - 14,71	19,00 x 9,50
11,55 - 16,66	17,00 x 8,00
12,05 - 17,44	16,00 x 8,00
14,71 - 21,43	13,00 x 6,50
17,44 - 25,95	11,00 x 5,50
25,95 - 37,50	7,20 x 3,40
37,50 - 53,57	5,20 x 2,60
53,57 - 78,33	3,60 x 1,80
78,33 - 118,1	2,40 x 1,20
118,1 - 178,4	1,60 x 0,80
178,4 - 258,4	1,10 x 0,55
258,4 - 405,1	0,70 x 0,35

IP (Степени защиты, обеспечиваемые оболочками)

International Protection Marking (в переводе с англ. — «международные коды защиты») — классификация способа защиты, обеспечиваемый оболочкой технического устройства от доступа к опасным частям, попадания внешних твердых предметов и (или) воды и проверяемый стандартными методами испытаний. Регулируется стандартами IEC 60529 (DIN 40050, ГОСТ 14254).

Маркировка степени защиты оболочки электрооборудования осуществляется при помощи международного знака защиты (IP) и двух цифр, с необязательным добавлением конкретизирующей буквы, первая из которых означает защиту от попадания твёрдых предметов, вторая — от проникновения воды.

Код имеет вид IP(XX), где на позициях X находятся цифры либо символ X, если степень не определена. За цифрами могут идти одна или две буквы, дающие вспомогательную информацию. Например, бытовая электрическая розетка может иметь степень защиты IP22 — она защищена от проникновения пальцев и не может быть повреждена вертикально или почти вертикально каплюющей водой.

Максимальная степень защиты по этой классификации — IP68: то есть пыленепроницаемый прибор, выдерживающий длительное погружение в воду под давлением. В данное время максимальная степень защиты — IP69-K: маркировка корпусов изделий, выдерживающих высокотемпературную мойку под высоким давлением.

Первая цифра — защита от проникновения посторонних предметов

Первая характеристическая цифра указывает на степень защиты, обеспечиваемой оболочкой:

- людей от доступа к опасным частям, предотвращая или ограничивая проникновение внутрь оболочки какой-либо части тела или предмета, находящегося в руках у человека;
- оборудования, находящегося внутри оболочки, от проникновения внешних твёрдых предметов.

Если первая классифицирующая цифра равна 0, то оболочка не обеспечивает защиту ни от доступа к опасным частям, ни от проникновения внешних твёрдых предметов.

Первая классифицирующая цифра, равная 1, указывает на то, что оболочка обеспечивает защиту от доступа к опасным частям тыльной стороной руки, 2 — пальцем, 3 — инструментом, 4, 5 и 6 — проволокой.

При первой классифицирующей цифре, равной 1, 2, 3 и 4, оболочка обеспечивает защиту от внешних твёрдых предметов диаметром больше или равным соответственно 50, 12,5, 2,5 и 1,0 мм.

При цифре 5 оболочка обеспечивает частичную, а при цифре 6 — полную защиту от пыли.

Уровень	Защита от посторонних предметов, имеющих диаметр	Описание
0	—	Защита отсутствует
1	≥50 мм	Большие поверхности тела, нет защиты от сознательного контакта
2	≥12,5 мм	Пальцы и подобные объекты
3	≥2,5 мм	Инструменты, кабели и т. п.
4	≥1 мм	Большинство проводов, болты и т. п.
5	Пылезащищённое	Некоторое количество пыли может проникать внутрь, однако это не нарушает работу устройства. Полная защита от контакта
6	Пыленепроницаемое	Пыль не может попасть в устройство. Полная защита от контакта

Вторая цифра — защита от проникновения воды

Вторая классифицирующая цифра указывает степень защиты оборудования от вредного воздействия воды, которую обеспечивает оболочка.

Если вторая классифицирующая цифра равна 0, то оболочка не обеспечивает защиту от вредного воздействия воды.

Вторая классифицирующая цифра, равная 1, указывает на то, что оболочка обеспечивает защиту от вертикально падающих капель воды; 2 — от вертикально падающих капель воды, когда оболочка отклонена на угол до 15°; 3 — от воды, падающей в виде дождя; 4 — от сплошного обрызгивания; 5 — от водяных струй; 6 — от сильных водяных струй; 7 — от воздействия при временном (непродолжительном) погружении в воду; 8 — от воздействия при длительном погружении в воду; 9 — в условиях высокотемпературной мойки даже при высоком давлении воды.

Уровень	Защита от	Описание
0	—	Защита отсутствует
1	Вертикальные капли	Вертикально капающая вода не должна нарушать работу устройства
2	Вертикальные капли под углом до 15°	Вертикально капающая вода не должна нарушать работу устройства, если его отклонить от рабочего положения на угол до 15°
3	Падающие брызги	Защита от дождя. Брызги падают вертикально или под углом до 60° к вертикали.
4	Брызги	Защита от брызг, падающих в любом направлении.
5	Струи	Защита от водяных струй с любого направления
6	Морские волны	Защита от морских волн или сильных водяных струй. Попавшая внутрь корпуса вода не должна нарушать работу устройства.
7	Кратковременное погружение на глубину до 1 м	При кратковременном погружении вода не попадает в количества, нарушающих работу устройства. Постоянная работа в погружённом режиме не предполагается.
8	Погружение на глубину более 1 м длительностью более 30 мин.	Устройство может работать в погружённом режиме
9	Воздействие струй воды высокой температуры	Устройство может работать в условиях высокотемпературной мойки водой высокого давления

Часто защита от попадания жидкостей автоматически обеспечивает защиту от проникновения. Например, устройство, имеющее защиту от жидкости на уровне 4 (прямое разбрызгивание) автоматически будет иметь защиту от попадания посторонних предметов на уровне 5.

Дополнительные буквы

Дополнительная буква обозначает степень защиты людей от доступа к опасным частям и указывается в том случае, если:

- действительная степень защиты от доступа к опасным частям выше степени защиты, указанной первой характеристической цифрой;
- обозначена только защита от вредного воздействия воды, а первая характеристическая цифра заменена символом «Х».

Дополнительная буква «А» указывает на то, что оболочка обеспечивает защиту от доступа к опасным частям тыльной стороной руки, «В» — пальцем, «С» — инструментом, «D» — проволокой.

Буква	Значение
A	тыльной стороной руки
B	пальцем
C	инструментом
D	проволокой

Вспомогательная буква «Н» обозначает высоковольтное электрооборудование. Вспомогательные буквы «М» и «S» указывают на то, что оборудование с движущимися частями во время испытаний на соответствие степени защиты от вредных воздействий, связанных с проникновением воды, находится соответственно в состоянии движения или неподвижности.

Буква	Значение
H	Высоковольтная аппаратура
M	Во время испытаний защиты от воды устройство работало
S	Во время испытаний защиты от воды устройство не работало
W	Защита от погодных условий

Степень защиты оболочки может быть обозначена дополнительной буквой только в том случае, если она удовлетворяет всем более низким по уровню степеням защиты: IP1XB, IP1XC, IP1XD, IP2XC, IP2XD, IP3XD.

Расширение стандарта

Немецкий стандарт DIN 40050-9 расширяет IEC 60529 до степени защиты IP69K, применяемой для высокотемпературной мойки под высоким давлением. Такие корпуса имеют не только полную защиту от пыли (IP6X), но и способны выдержать высокое давление воды во время мойки.

Степень защиты IP69K была первоначально разработана для дорожных транспортных средств, особенно тех, которые нуждаются в регулярной интенсивной очистке (самосвалов, бетономешалок и др.), но в настоящее время находит применение в других областях (пищевая и химическая промышленность).

Таблица преобразования коэффициента стоячей волны

КСВН	Обратные потери, дБ	Коэф-фициент отражения	Потери рассогласования, дБ	Эффек-тивность, %	КСВН	Обратные потери, дБ	Коэф-фициент отражения	Потери рассогласования, дБ	Эффек-тивность, %
1.01	46.06	0.0050	0.000	100.00	1.55	13.32	0.2157	0.207	95.35
1.02	40.09	0.0099	0.000	99.99	1.60	12.74	0.2308	0.238	94.67
1.03	36.61	0.0148	0.001	99.98	1.65	12.21	0.2453	0.270	93.98
1.04	34.15	0.0196	0.002	99.96	1.70	11.73	0.2593	0.302	93.28
1.05	32.26	0.0244	0.003	99.94	1.75	11.29	0.2727	0.336	92.56
1.06	30.71	0.0291	0.004	99.92	1.80	10.88	0.2857	0.370	91.84
1.07	29.42	0.0338	0.005	99.89	1.85	10.51	0.2982	0.405	91.10
1.08	28.30	0.0385	0.007	99.85	1.90	10.16	0.3103	0.440	90.37
1.09	27.32	0.0431	0.008	99.81	1.95	9.84	0.3220	0.475	89.63
1.10	26.44	0.0476	0.010	99.77	2.00	9.54	0.3333	0.511	88.89
1.11	25.66	0.0521	0.012	99.73	2.10	9.00	0.3548	0.584	87.41
1.12	24.94	0.0566	0.014	99.68	2.20	8.52	0.3750	0.658	85.94
1.13	24.29	0.0610	0.016	99.63	2.30	8.09	0.3939	0.732	84.48
1.14	23.69	0.0654	0.019	99.57	2.40	7.71	0.4118	0.807	83.04
1.15	23.13	0.0698	0.021	99.51	2.50	7.36	0.4286	0.882	81.63
1.16	22.61	0.0741	0.024	99.45	2.60	7.04	0.4444	0.956	80.25
1.17	22.12	0.0783	0.027	99.39	2.70	6.76	0.4595	1.030	78.89
1.18	21.66	0.0826	0.030	99.32	2.80	6.49	0.4737	1.104	77.56
1.19	21.23	0.0868	0.033	99.25	2.90	6.25	0.4872	1.176	76.27
1.20	20.83	0.0909	0.036	99.17	3.00	6.02	0.5000	1.249	75.00
1.21	20.44	0.0950	0.039	99.10	3.10	5.81	0.5122	1.321	73.77
1.22	20.08	0.0991	0.043	99.02	3.20	5.62	0.5238	1.393	72.56
1.23	19.73	0.1031	0.046	98.94	3.30	5.43	0.5349	1.464	71.39
1.24	19.40	0.1071	0.050	98.85	3.40	5.26	0.5455	1.534	70.25
1.25	19.08	0.1111	0.054	98.77	3.50	5.11	0.5556	1.603	69.14
1.26	18.78	0.1150	0.058	98.68	3.60	4.96	0.5652	1.672	68.05
1.27	18.49	0.1189	0.062	98.59	3.70	4.81	0.5745	1.739	67.00
1.28	18.22	0.1228	0.066	98.49	3.80	4.68	0.5833	1.807	65.97
1.29	17.95	0.1266	0.070	98.40	3.90	4.56	0.5918	1.873	64.97
1.30	17.69	0.1304	0.074	98.30	4.00	4.44	0.6000	1.938	64.00
1.31	17.45	0.1342	0.079	98.20	4.10	4.32	0.6078	2.003	63.05
1.32	17.21	0.1379	0.083	98.10	4.20	4.22	0.6154	2.067	62.13
1.33	16.98	0.1416	0.088	97.99	4.30	4.12	0.6226	2.130	61.23
1.34	16.75	0.1453	0.093	97.89	4.40	4.02	0.6296	2.193	60.36
1.35	16.54	0.1489	0.097	97.78	4.50	3.93	0.6364	2.255	59.50
1.36	16.33	0.1525	0.102	97.67	4.60	3.84	0.6429	2.316	58.67
1.37	16.13	0.1561	0.107	97.56	4.70	3.75	0.6491	2.376	57.86
1.38	15.94	0.1597	0.112	97.45	4.80	3.67	0.6552	2.436	57.07
1.39	15.75	0.1632	0.117	97.34	4.90	3.60	0.6610	2.494	56.31
1.40	15.56	0.1667	0.122	97.22	5.00	3.52	0.6667	2.552	55.56
1.41	15.38	0.1701	0.127	97.11	5.10	3.45	0.6721	2.611	54.82
1.42	15.21	0.1736	0.133	96.99	5.20	3.38	0.6774	2.667	54.11
1.43	15.04	0.1770	0.138	96.87	5.30	3.32	0.6825	2.724	53.41
1.44	14.88	0.1803	0.143	96.75	5.40	3.25	0.6875	2.779	52.73
1.45	14.72	0.1837	0.149	96.63	5.50	3.19	0.6923	2.834	52.07
1.46	14.56	0.1870	0.155	96.50	5.60	3.14	0.6970	2.889	51.42
1.47	14.41	0.1903	0.160	96.38	5.70	3.08	0.7015	2.942	50.79
1.48	14.26	0.1935	0.166	96.25	5.80	3.03	0.7059	2.996	50.17
1.49	14.12	0.1968	0.171	96.13	5.90	2.97	0.7101	3.048	49.57
1.50	13.98	0.2000	0.177	96.00	6.00	2.92	0.7143	3.100	48.98

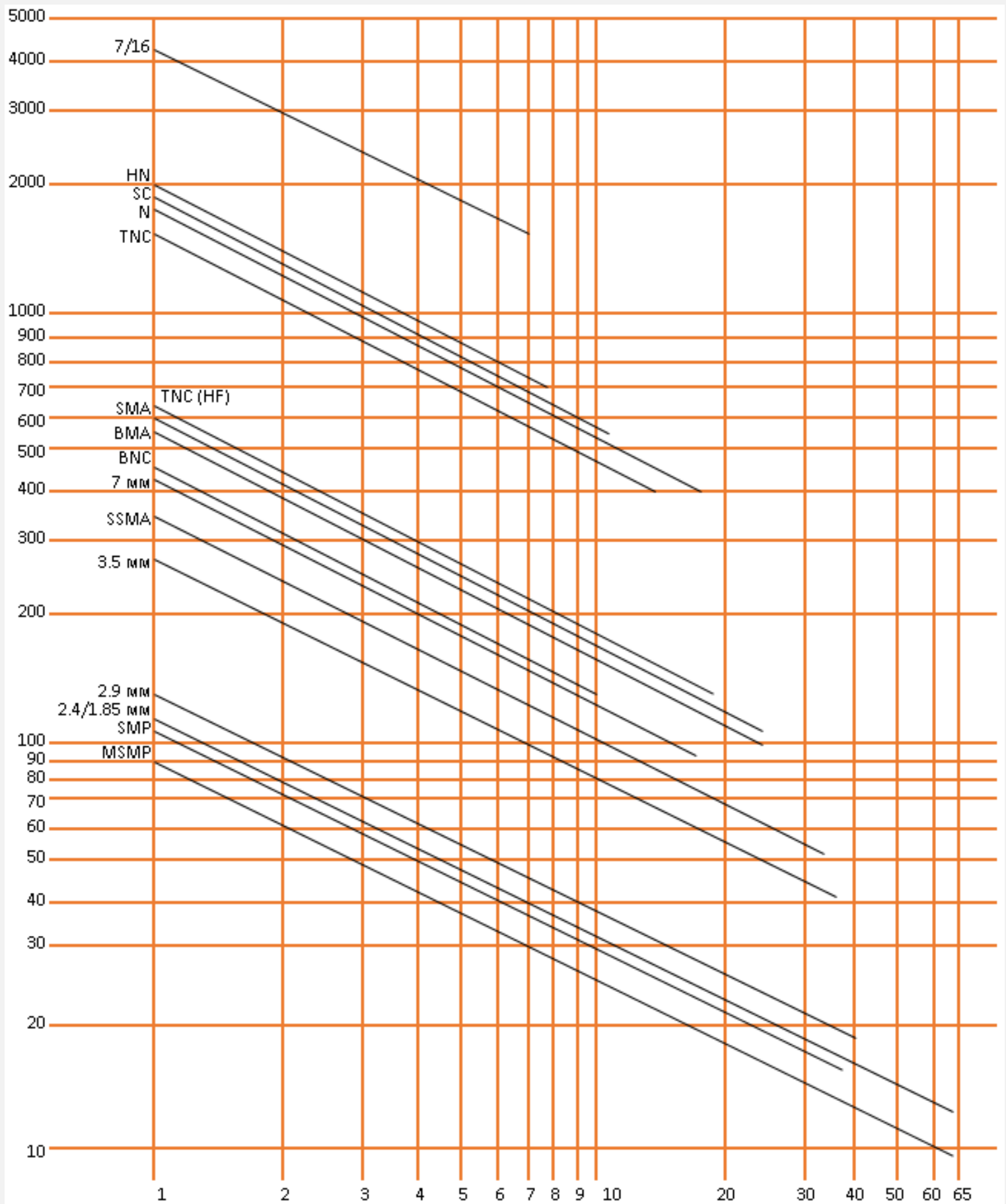
Таблица совместимости типов соединителей

	1.85	2.4	2.92	3.5	BMA	MBMA	III	N	7	SMA	IX	IXв2	IXв3	SMP	TNC	MSMP
1.85	+	+														
2.4	+	+														
2.92			+	+						+		+				
3.5			+	+						+		+				
BMA					+											
MBMA						+										
III							+									
N								+								
7									+							
SMA			+	+						+		+				
IX											+					
IXв2			+	+						+		+				
IXв3													+			
SMP														+		
TNC															+	
MSMP																+

Таблица зависимости средней пропускаемой мощности от частоты

ГГц	MSMP	SMP	1.85/ 2.4	2.92	3.5	SSMA	7	BNC	BMA	SMA	TNC	TNC (ВЧ)	SC	N	HN	7/16
1	87	115	120	140	270	355	420	450	560	620	1750	660	1950	1800	2000	4200
2	60	75	80	93	190	250	300	310	390	450	1250	490	1450	1400	1500	2900
3	50	58	63	72	160	200	250	250	300	360	900	400	1150	1000	1300	2400
4	43	51	56	67	140	170	200	215	275	300	780	300	950	900	990	2100
5	38	45	50	58	125	160	180	190	240	260	620	300	820	800	890	1800
6	35	40	45	53	115	145	175	175	210	240	600	270	750	700	800	1700
7	32	37	42	50	100	140	160	160	190	230	550	220	690	650	750	1600
8	30	35	40	46	92	130	150	155	180	210	510	200	650	600	700	
9	28	32	37	43	88	120	140	150	170	195	490	190	600	570		
10	27	30	35	40	85	115	140	140	160	180	470	180	580	530		
20	18	20	25	27	56	75	90		120	130			570	420		
30	16	15	20	22	46	60			100							
40	14	12	17	19												
50	13	11	16													
60	11	10	15													
65	10	9	14													

График зависимости средней пропускаемой мощности от частоты



Некоторые формулы СВЧ техники

Волновое сопротивление (Ом)

$$Z_0 = \frac{\sqrt{L}}{C} = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot \log\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right)$$

$$Z_0 = 138 \cdot V_p \cdot \log\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right)$$

Скорость распространения и диэлектрическая постоянная

$$V_p = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}}; \varepsilon = \frac{1}{V_p^2}$$

Время задержки (нс/м)

$$T = \frac{3.33}{V_p} = 3.33 \cdot \sqrt{\varepsilon}$$

Погонная емкость (пФ/м)

$$C = \frac{24 \cdot \varepsilon}{\log\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right)} = \frac{55.6 \cdot \varepsilon}{\ln\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right)}$$

$$C = \frac{24}{V_p^2 \cdot \log\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right)} = \frac{55.6}{V_p^2 \cdot \ln\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right)}$$

$$C = \frac{1016}{Z_0 \cdot V_p}$$

Индуктивность (мкГн/м)

$$L = 0.46 \cdot \log\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right) = 0.199 \cdot \ln\left(\frac{D}{d \cdot k_s}\right)$$

$$L = Z_0^2 \cdot C \cdot 1 \cdot 10^{-6}$$

Частота отсечки (ГГц)

$$F_o = \frac{190 \cdot V_p}{D + d \cdot k_s} = \frac{190}{\sqrt{\varepsilon} \cdot (D + d \cdot k_s)}$$

Длина волны (мм)

$$L_e = \frac{300 \cdot V_p}{F_{ГГц}} = \frac{300}{F_{ГГц} \cdot \sqrt{\varepsilon}}$$

Длина / Градус (мм/°)

$$D_l = \frac{300 \cdot V_p}{F_{ГГц} \cdot 360} = \frac{300}{F_{ГГц} \cdot \sqrt{\varepsilon} \cdot 360}$$

Частота (ГГц)

$$F = \frac{300 \cdot V_p}{L_e} = \frac{300}{L_e \cdot \sqrt{\varepsilon}}$$

Электрическая длина (°)

$$\Phi = \frac{l \cdot F_{ГГц} \cdot 360}{300 \cdot V_p} = \frac{l}{D_l}$$

$$\Phi = \frac{l \cdot F_{ГГц} \cdot 360 \cdot \sqrt{\varepsilon}}{300}$$

Температурный коэффициент фазы (ppm/°C)

$$TK\Phi = \frac{\Delta\Phi \cdot 1 \cdot 10^6}{\Phi \cdot \Delta T}$$

Фазовая стабильность (ppm)

$$\Delta\Phi = \Phi \cdot TK\Phi \cdot 1 \cdot 10^{-6} = \frac{TK\Phi \cdot \Phi \cdot \Delta T}{1 \cdot 10^6}$$

$$\Delta\Phi = \frac{l \cdot F_{ГГц} \cdot 360 \cdot TK\Phi \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{300 \cdot V_p}$$

$$\Delta\Phi = \frac{l \cdot F_{ГГц} \cdot 360 \cdot \sqrt{\varepsilon}}{300 \cdot TK\Phi \cdot 1 \cdot 10^{-6}}$$

Возвратные потери (дБ)

$$RL = -20 \cdot \log \Gamma$$

$$RL = -20 \cdot \log\left(\frac{KCB-1}{KCB+1}\right)$$

KCB

$$KCB = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} = \frac{1+10^{\frac{RL}{20}}}{1-10^{\frac{RL}{20}}} = \frac{1+\sqrt{P_{отп}/P_{над}}}{1-\sqrt{P_{отп}/P_{над}}}$$

Коэфф. отражения

$$\Gamma = 10^{\frac{RL}{20}} = \frac{KCB-1}{KCB+1} = \sqrt{\frac{P_{отп}}{P_{над}}}$$

Эффективность (%)

$$S_e = \left[1 - \left(\frac{KCB-1}{KCB+1}\right)^2\right] \cdot 100 = (1-\Gamma^2) \cdot 100$$

Потери рассогласования (дБ)

$$A_{рас} = -10 \cdot \log\left[1 - \left(\frac{KCB-1}{KCB+1}\right)^2\right] = -10 \cdot \log(1-\Gamma^2)$$

Обозначение величин в формулах

Символ	Обозначение	Единицы измерения	Символ	Обозначение	Единицы измерения
ϵ	диэлектрическая постоянная	-	RL	возвратные потери	дБ
Γ	коэффициент отражения	-	КСВ	коэффициент стоячей волны	-
Φ	электрическая длина	градусы ($^{\circ}$)	Ротр	мощность отраженной волны	дБ
C	погонная емкость	пФ/м	Рпад	мощность падающей волны	дБ
L	индуктивность	мкГн/м	Арас	потери рассогласования	дБ
Zo	волновое сопротивление	Ом	Se	эффективность	%
Vp	скорость распространения	-	ТКФ	температурный коэффициент фазы	ppm/ $^{\circ}$ C
D	внешний диаметр изоляции	мм	ΔT	температурный диапазон	$^{\circ}$ C
d	внешний диаметр внутреннего проводника	мм	ks	коэффициент, учитывающий влияние конструкции внутреннего проводника на волновое сопротивление:	
T	время задержки	нс/м	1	— для однопроволочного проводника	
I	физическая длина	мм	0.939	— для семипроволочных проводников	
F	частота	ГГц	0.970	— для 19-проволочных проводников	
Fo	частота отсечки	ГГц	0.980	— для 37-проволочных проводников	

Свойства изоляционных материалов

Материал	Диэлектрическая постоянная (ϵ)	Коэффициент рассеяния	Погонная емкость, пФ/м	Температурный диапазон, $^{\circ}$ C
Фторопласт	2.07	0.0003	95.9	от -75 до +250
Полиэтилен	2.3	0.0003	101.1	от -65 до +80
Вспененный полиэтилен	1.29-1.64	0.0001	75.72-85.38	от -65 до +100
Поливинилхлорид	3.0-8.0	0.07-0.16	115.47-188.56	от -50 до +105
Полиамид	3.5-4.6	0.03-0.4	124.72-254.73	от -60 до +120
Силиконовая резина	2.1-3.5	0.007-0.016	96.61-124.72	от -70 до +250
Этиленпропилен	2.24	0.00046	99.8	от -40 до +105
Фторэтиленпропилен	2.1	0.0007	96.6	от -70 до +200
Фторопласт низкой плотности	1.38-1.73	0.00005	78.3-87.7	от -75 до +250
Вспененный фторэтиленпропилен	1.45	0.0007	80.3	от -75 до +200
Полиимид	3.0-3.5	0.002-0.003	115.5-124.7	от -75 до +300
Перфторалкоксидный полимер	2.1	0.001	96.6	от -196 до +260
Этилентетрафторэтилен	2.6	0.005	107.5	от -75 до +150
Этиленхлортрифторэтилен	2.5	0.0015	105.4	от -65 до +150
Поливинилиденфторид	7.8	0.02	186.2	от -75 до +125