

Допустимая пропускаемая мощность радиочастотных соединителей. Критерии выбора

К. Джуринский, к. т. н.¹, А. Сотников²

УДК 621.389 | ВАК 05.27.01

Неправильно выбранные радиочастотные коаксиальные соединители и кабели могут сделать неэффективной любую сложную многофункциональную систему, в состав которой они входят. Данная статья посвящена обоснованию критериев выбора радиочастотных соединителей на базе справочных материалов*. Основное внимание уделено проблеме выбора соединителей с допустимой пропускаемой мощностью. Приведены данные о допустимой мощности зарубежных и отечественных соединителей.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА РАДИОЧАСТОТНОГО СОЕДИНИТЕЛЯ

Радиочастотные соединители обеспечивают жизненно важные соединения в устройствах связи, вещания, испытаний и измерений, коммерческих и военных системах. При выборе соединителя необходимо учитывать его следующие технические характеристики.

- **Волновое сопротивление:** 50 или 75 Ом.
- **Диапазон рабочих частот.**
- **«Пол» и полярность соединителя:** вилка или розетка, прямой или обратной полярности. Законченная конструкция соединителя представляет собой сочетание пары вилка – розетка. Принято считать, что вилка – это часть пары, которая имеет штыревой центральный контакт, а розетка – гнездовой контакт, что не вызывает сомнений в случае соединителей, выполненных с резьбой на корпусе [1, 2]. Но существует и другое определение «пола» соединителя. «Пол» определяется не видом центрального контакта – штырь или гнездо, а исключительно видом резьбы на корпусе соединителя. Согласно этому утверждению все резьбовые радиочастотные соединители с внутренней резьбой на корпусе являются соединителями вилка, а с резьбой на внешней части корпуса – соединителями розетка, независимо от их полярности. После определения «пола» соединителя по виду резьбы на корпусе (внутренняя или внешняя) можно установить его полярность. Электрические характеристики стандартных

соединителей и их аналогов обратной полярности одинаковые [2].

- **Вид соединения вилки и розетки.** В настоящее время наряду с традиционным резьбовым соединением разработаны соединения: байонетное, защелкиванием (snap-on, push-on), блокировка (lock-on), «вслепую» (blind mate), скользящее (quick lock) [1].
- **Электрические параметры применяемого радиочастотного кабеля** (гибкого, полужесткого, формованного вручную), а также способ заделки кабеля в соединитель: пайка, обжим, прижим [3].
- **КСВН и вносимые потери в рабочем диапазоне частот, величина экранного затухания.**
- **Напряжение пробоя (Breakdown Voltage), испытательное напряжение (DWV – Dielectric Withstanding Voltage) и максимальное рабочее напряжение (Working Voltage).** Напряжение пробоя – это максимальное напряжение, которое может выдержать соединитель без значительного возрастания тока утечки и разрушения. Рабочее напряжение – максимальное напряжение, при котором соединитель должен работать с заданными параметрами в течение всего срока службы. Рабочее напряжение составляет 1/4 от напряжения пробоя и зависит как от конструкции соединителя, так и от конкретных условий эксплуатации [3]. При указании рабочего напряжения в спецификации должны быть приведены значения температуры и атмосферного давления на уровне моря или на высоте 70 000 футов (21,3 км). Рабочее напряжение большинства стандартных соединителей 500 В.
- **Условия эксплуатации:** диапазон рабочих температур, применение – наружное или внутри помещения, способ установки в изделие, необходимая

¹ АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина», kbd.istok@mail.ru.

² АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина», tuluslat@gmail.com.

* На основе анализа справочных материалов обсуждаются проблемы выбора соединителей по допустимой пропускаемой мощности.

герметичность соединителя, гарантированное количество соединений и рассоединений вилки и розетки.

- **Габаритные, присоединительные и установочные размеры и масса соединителя, используемые материалы и покрытия.** Хотя важнейшей тенденцией создания современных радиоэлектронных средств является миниатюризация всех составляющих компонентов, необходимо учитывать, что с уменьшением размеров радиочастотных соединителей снижается и допустимая пропускаемая мощность.
- **Стойкость к внешним воздействующим факторам.**
- **Надежность** (долговечность, сохраняемость).
- **Стоимость.** Нередко из-за ограниченности финансирования приходится отказываться от соединителей с высоким уровнем параметров, но имеющих высокую стоимость. Однако для изделий высокой сложности и повышенной надежности на соединителях нельзя экономить, слишком велика их значимость в обеспечении выходных параметров изделий.
- **Допустимая пропускаемая мощность соединителя.** Допустимая пропускаемая мощность определяет надежность самого соединителя и устройства, в котором соединитель установлен. Это особенно важно для соединителей, применяемых в мощных военных радарх и спутниковом оборудовании. Однако этот параметр нередко вообще не приводят в спецификациях на соединители или приводят без указания условий (частота, температура, давление), при которых он был определен. Поэтому вопрос о допустимой пропускаемой мощности радиочастотных соединителей требует отдельного рассмотрения.

ВИДЫ МОЩНОСТИ, ПЕРЕДАВАЕМОЙ РАДИОЧАСТОТНЫМ СОЕДИНИТЕЛЕМ

Радиочастотные соединители предназначены для передачи периодических импульсных и непрерывных сигналов. Прежде всего, необходимо определить вид передаваемой мощности соединителя: непрерывная (CW Power) или импульсная (Pulse Power), средняя (Average Power) или пиковая (Peak Power) мощности. CW Power – это мощность непрерывной электромагнитной волны постоянной амплитуды и частоты [4]. Средняя импульсная мощность $P_{\text{ср}}$ – среднее значение мощности сигнала, измеренное за период повторения импульсов, пиковая мощность $P_{\text{пик}}$ – наибольшее мгновенное значение мощности сигнала в импульсе. Пиковая мощность соединителя зависит от его КСВН, скважности импульсов температуры и давления окружающей среды. Максимальная пиковая мощность определяется напряжением пробоя между внутренним и наружным проводниками его коаксиальной линии и волновым сопротивлением коаксиальной линии [2].

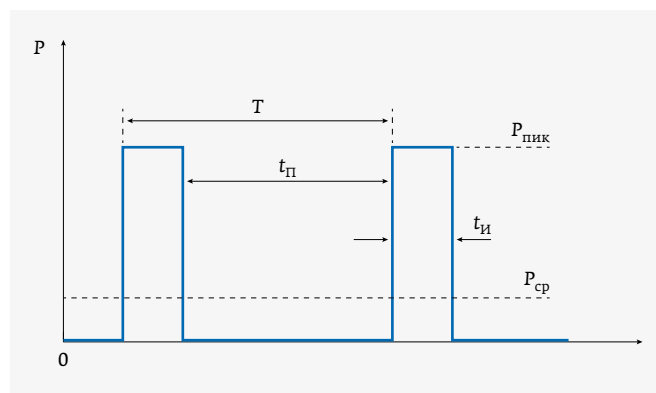


Рис. 1. Параметры периодического импульсного сигнала

Соотношение между средней и пиковой мощностями поясняется рис. 1 и определяется следующей формулой: $P_{\text{ср}} = P_{\text{пик}} \frac{t_{\text{и}}}{T}$, где $t_{\text{и}}$ – длительность импульса, T – период повторения импульсов.

При работе с импульсными сигналами необходимо учитывать, что соединители могут пропускать импульсную мощность, превышающую их номинальную мощность в непрерывном режиме. Это происходит из-за времени отключения импульса в паузе импульса ($t_{\text{п}}$), когда в соединителе не выделяется тепло и происходит его охлаждение. Однако средняя мощность за полный цикл сигналов не должна превышать номинальную непрерывную мощность.

Допустимая пропускаемая мощность определяется конструкцией соединителя, размерами его коаксиальной линии, термическими свойствами применяемых материалов и зависит от частоты, КСВН соединителя, температуры и давления окружающей среды. Она снижается в случае, если количество тепла, выделяемого в соединителе за счет потерь проводимости и диэлектрических потерь, превышает количество тепла, отводимого в окружающую среду. Температура соединителя стабилизируется, когда количество тепла, выделяемого в соединителе в результате потерь пропускаемой мощности, станет равным количеству тепла, отводимому от поверхности соединителя в окружающую среду. Эта температура определяет максимально допустимую «тепловую» мощность соединителя.

Материалы, используемые в соединителе, влияют на допустимую пропускаемую мощность, особенно это относится к применяемым диэлектрикам. В большинстве соединителей с предельной частотой 18 ГГц наиболее широко используют политетрафторэтилен (PTFE) – фторопласт. В соединителях 3.5 mm, 2.92 mm, 2.4 mm, 1.85 mm и 1.0 mm с воздушной коаксиальной линией опорные шайбы изготавливают из фторполимеров Ultem 1000,

Peek, Noryl EN265. Эти диэлектрики обеспечивают стабильность электрических параметров соединителей повышенной рабочей частоты и пропускаемой мощности, а также при работе в условиях радиационных и механических воздействий.

Распределение температуры в соединителе неравномерно в радиальном направлении. Самая высокая температура – в области, ближайшей к центральному проводнику, где электромагнитное поле наиболее сконцентрировано. В этой области температура диэлектрика может превышать допустимую для него температуру нагрева. Максимально допустимые рабочие температуры для диэлектриков PTFE, Ultem 1000, Peek, Noryl EN265 соответственно равны 260, 250, 170 и 190 °C [3].

Средняя мощность при очень коротких импульсах импульсной мощности высокого уровня может быть даже менее ее допустимого уровня. Однако необходимо учитывать, что увеличение уровня мощности происходит в результате возрастания напряженности электромагнитного поля. Но увеличение напряженности поля возможно только до определенного предела. При достижении предельной (пробивной) напряженности может произойти пробой диэлектрической изоляции в соединителе в результате ионизационного или мультитакторного высокочастотных разрядов при воздействии СВЧ-поля в замкнутых воздушных полостях (зазорах) между проводниками его коаксиальной линии [3, 5, 6].

Высокочастотный ионизационный разряд, переходящий в коронный, – это газовый разряд, возникающий в результате воздействия высокочастотного поля высокой мощности. Коронный разряд маловероятен в высоком вакууме при давлении воздуха, меньшем 10^{-5} мм рт. ст. [3].

Мультитакторный (вторично-эмиссионный микроволновый разряд) может возникнуть в замкнутых полостях соединителя в результате развития электронной лавины, вызванной вторичной электронной эмиссией с поверхности проводников соединителя, бомбардируемых электронами, ускоренными в СВЧ-поле. Мультитакторный пробой ограничивает пропускаемую мощность соединителя при давлении ниже 10^{-5} мм рт. ст. (такое давление на высоте свыше 150 км). При более высоких давлениях вероятность мультитакторного пробоя невелика.

По данным американской компании Gore & Associates [5] для соединителя SMA:

- при соотношении $f \cdot \delta < 0,7$ ГГц мм доминирует мультитакторный разряд;
- при $f \cdot \delta > 2$ ГГц мм – ионизационный газовый разряд;
- при $2 < f \cdot \delta < 0,7$ ГГц мм – возможны оба вида разряда, где f – частота, ГГц, δ – зазор между проводниками, мм.

Компания Mega Phase предложила простое правило оценки возможности появления ионизационного или

мультитакторного пробоя в соединителях, работающих на большой высоте. Ионизационный пробой возможен, если высота равна от 21,3 до 160 км, мультитакторный пробой – на высоте более 161 км [6].

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДОПУСТИМУЮ ПРОПУСКАЕМУЮ МОЩНОСТЬ СОЕДИНИТЕЛЯ

Допустимая пропускаемая мощность соединителя зависит не только от частоты, но и от условий, в которых должен работать соединитель. При выборе соединителя необходимо учитывать, что его допустимая мощность будет зависеть от температуры и давления окружающей среды, а также от КСВН соединителя.

Рассмотрим влияние этих параметров на допустимую мощность соединителя [5, 7, 8].

Температура

При повышении температуры окружающей среды происходит снижение количества тепловой энергии, которая может быть отведена от поверхности соединителя в окружающую среду конвекцией или теплопроводностью. Кроме того, при возрастании температуры изменяются характеристики примененных в соединителе материалов: теплопроводность, излучающая способность, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, удельное сопротивление. Эти сложные эффекты приводят к температурной зависимости допустимой мощности соединителя.

Высота / Давление

С подъемом на высоту относительно уровня моря атмосферное давление уменьшается в соответствии с барометрической формулой: $P_{\text{мм.рт.ст.}} = 760e^{-0,00012h}$ [9]. Так на высоте 70 000 футов (21,3 км), которую обычно указывают в data sheet на соединители, оно равно 60 мм рт. ст. (приблизительно в 12,7 раз меньше, чем на уровне моря). При снижении давления уменьшается количество тепловой энергии, которая может быть отведена от соединителя в окружающую среду путем естественной конвекции. Процесс конвекции на границе раздела соединителя и окружающей среды зависит от многих факторов: динамической вязкости, проводимости, удельной теплоемкости, объемной массы воздуха и др.

КСВН

С ростом частоты увеличивается КСВН соединителей. В результате суперпозиции падающей и отраженной волн напряжение и ток вдоль коаксиальной линии соединителя имеют максимумы и минимумы. Более высокий уровень отражения приводит к снижению напряжения пробоя соединителя, а значит, к уменьшению допустимой пропускаемой мощности. Подключение соединителя с низким уровнем КСВН к несогласованной нагрузке

МОНОЛИТ

www.monolit.by

ВИТЕБСКИЙ ЗАВОД РАДИОДЕТАЛЕЙ

**МНОГОСЛОЙНЫЕ
КЕРАМИЧЕСКИЕ
КОНДЕНСАТОРЫ**

**ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩАЯ
ПРОДУКЦИЯ**

для высоконадёжной аппаратуры

ТЕРМОРЕЗИСТОРЫ

с положительным температурным
коэффициентом сопротивления

**РЕГИСТРЫ
НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ**

210101, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ
г. Витебск, ул. М. Горького, 145

Отдел маркетинга и сбыта:
тел.: + 375 (212) 36-44-52;
+ 375 (212) 36-45-34
факс: + 375 (212) 36-44-65
e-mail: monolmarket@mail.ru
monosbet@mail.ru



Акционерное общество
«СПЕЦ-ЭЛЕКТРОНКОМПЛЕКТ»



www.monolit.by

**ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ДИЛЕР
НА ТЕРРИТОРИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Почтовый адрес: 125319, г. Москва, а/я 92.
Офис: г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 2
+7 (495) 234-01-10, факс: +7 (495) 956-3346
sales@zolshar.ru

также приводит к уменьшению пропускаемой мощности. Зависимость пропускаемой мощности соединителя от КСВН, полученная компанией AR RF/Microwave Instrumentation [8], показана на рис. 2.

Выборную номинальную среднюю мощность соединителя необходимо уменьшить с учетом поправочных (понижающих) коэффициентов для КСВН, температуры окружающей среды и высоты / давления. Для этого компания Radiall [7] предлагает применять следующую формулу:

$$P = P_{\text{ном}} \cdot C_T \cdot C_h \cdot C_{\text{КСВН}}$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальное значение допустимой мощности при условии: КСВН = 1, температура 20 °С и давление на уровне моря (760 мм. рт. ст.);

C_T – понижающий коэффициент для повышенной температуры окружающей среды;

C_h – понижающий коэффициент для давления в зависимости от высоты над уровнем моря;

$C_{\text{КСВН}}$ – понижающий коэффициент для КСВН.

Частотные зависимости пропускаемой мощности по данным зарубежных компаний

Несколько зарубежных компаний опубликовали обобщенные данные о средней допустимой мощности соединителей разных типов в зависимости от частоты [7, 8, 10–18]. Графические зависимости средней мощности соединителей от частоты, построенные в двойных логарифмических координатах, представляют собой прямые линии [2].

Частотные зависимости средней пропускаемой мощности радиочастотных соединителей разных типов, по сведениям американской компании *Maury Microwave*, показаны на рис. 3 [10]. Эти данные приведены для следующих условий: КСВН равен 1, температура 25 °С, давление окружающей среды на уровне моря (760 мм рт. ст.).

Частотные зависимости средней мощности радиочастотных соединителей основных типов, по данным американских компаний *Absolute EMC* [11] и *AR RF/Microwave Instrumentation* [8], показаны на рис. 4.

Эти данные получены для нормальных значений температуры и давления окружающей среды и при согласованном сопротивлении источник/нагрузка (КСВН=1). Большие радиочастотные соединители 15/8 EIA и 7/8 EIA предназначены для приложений с высокой мощностью.

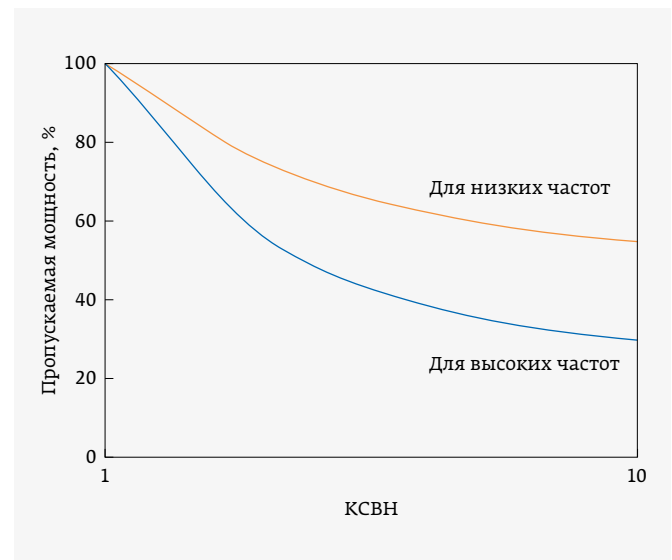


Рис. 2. Пропускаемая мощность соединителя в зависимости от КСВН

Частотные зависимости допустимой средней пропускаемой мощности соединителей, приведенные в работе [12], показаны на рис. 5. Эти данные получены для комнатной температуры и давления окружающей среды на уровне моря. Кроме того, соединители имеют волновое сопротивление 50 Ом и КСВН менее 1,35. При этом отраженная мощность мала и 97,7% падающей мощности поступает в нагрузку.

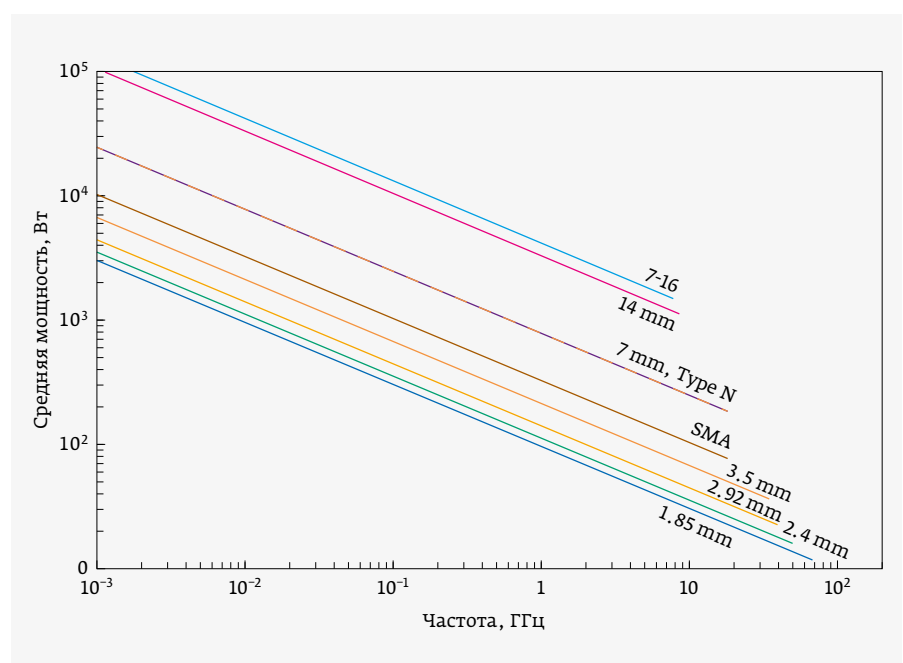


Рис. 3. Частотные зависимости средней пропускаемой мощности радиочастотных соединителей разных типов (компания Maury Microwave)



КРУПНЕЙШИЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ РАЗРАБОТЧИК И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ пассивных электронных компонентов специального (для обеспечения Гособоронзаказа) и народно-хозяйственного назначения, в том числе:

- ⚡ **универсальных серий многослойных керамических конденсаторов;**
- ⚡ **многослойных керамических конденсаторов специального назначения**, предназначенных для работы в СВЧ- и УВЧ-диапазонах, отличающихся низкими диэлектрическими потерями;
- ⚡ **керамических конденсаторов трубчатой и дисковой многослойной конструкции**, применяемых как помехоподавляющие элементы аппаратуры;
- ⚡ **проходных фильтров**, созданных на основе емкостных элементов указанных конструкций и предназначенных для подавления высокочастотных помех в аппаратуре.



Официальный
поставщик

www.zolshar.ru

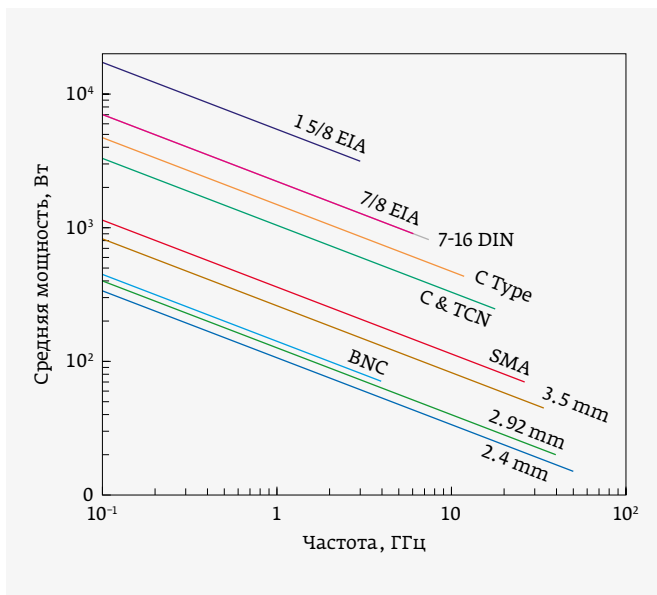


Рис. 4. Частотные зависимости средней пропускательной мощности радиочастотных соединителей основных типов (компания Absolute EMC и AR RF/Microwave Instrumentation)

Компания AN Systems специализируется на разработке и производстве современных антенн и технических средств, предназначенных для испытаний на электромагнитную совместимость [13]. По данным этой компании, наиболее широко применяемые соединители имеют

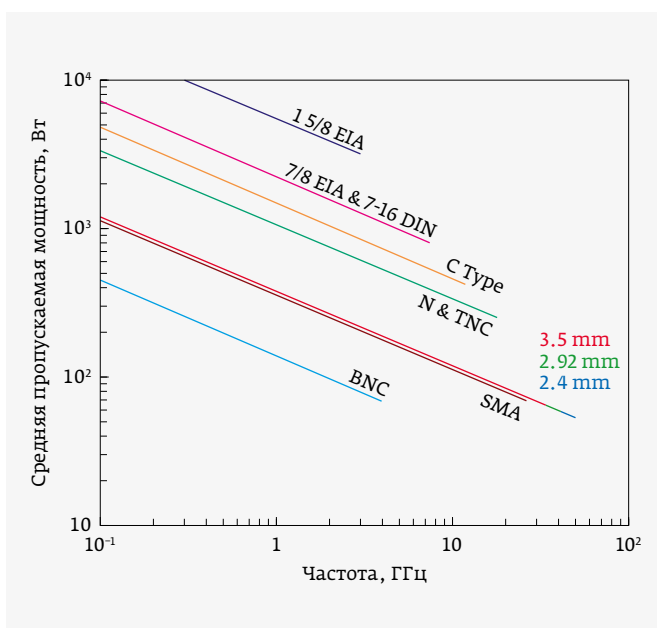


Рис. 5. Частотные зависимости средней пропускательной мощности радиочастотных соединителей разных типов [12]

Таблица 1. Предельная частота и номинальная пропускательная мощность соединителей

Тип соединителя	Предельная частота, ГГц	Номинальная мощность, Вт
7-16 DIN	7,5	850
Стандартный N	11	150
Прецизионный N	18	250
Прецизионный SMA	26,5	70
3.5 mm	34	45
2.92 mm	40	20
2.4 mm	50	15

предельную частоту и величины номинальной допустимой пропускательной мощности, приведенные в табл. 1.

Средняя допустимая пропускательная мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты по данным этой компании представлена на рис. 6.

Частотные зависимости средней мощности соединителей разных типов при комнатной температуре и давлении окружающей среды на уровне моря по данным американской компании Mega Phase показаны на рис. 7 [14].

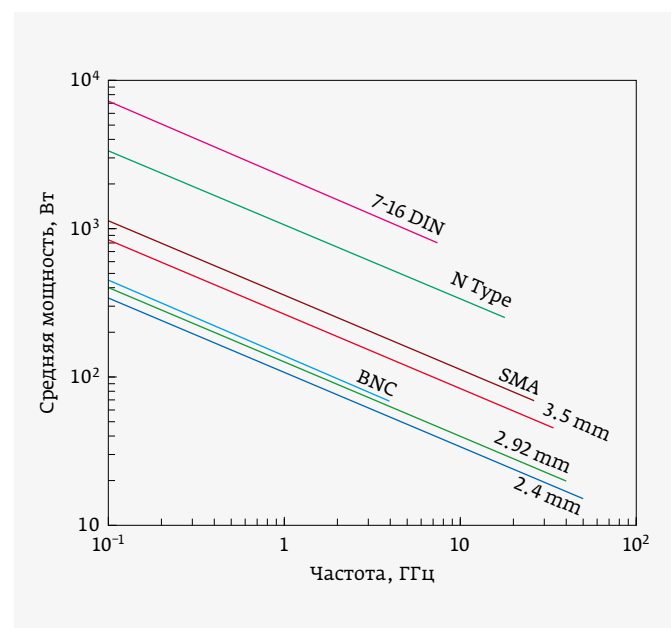


Рис. 6. Средняя мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты (компания AN Systems)



ИНТЕЛЛЕКТ. КАЧЕСТВО.

АО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»
Москва, Щелковское шоссе, д.5, стр.1
Тел. (499) 644-21-03, (499) 644-25-62
(многоканальный)
Факс +7(499) 644-19-70
E-mail: mwsystems@mwsystems.ru
www.mwsystems.ru

- СОВРЕМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНОЛОГИИ
- ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ЦЕНА/КАЧЕСТВО
- ПОЛНЫЙ СПЕКТР УСЛУГ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРОИЗВОДСТВУ МОНОЛИТНЫХ И ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ, ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ, МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЧ-УСТРОЙСТВ И БЛОКОВ РЭА (0,3 - 22 ГГц)

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «МИКРОВОЛНОВЫЕ СИСТЕМЫ»



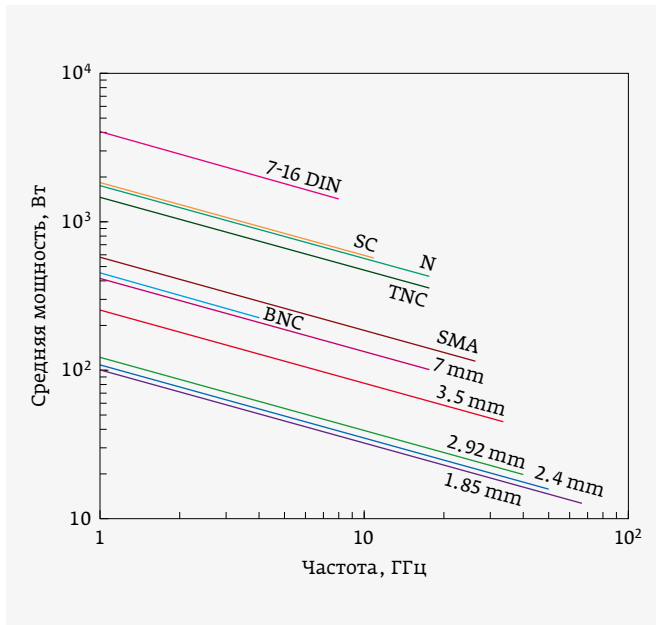


Рис. 7. Средняя мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты (компания Mega Phase)

Подробные данные о номинальной допустимой средней мощности соединителей приведены известной американской компанией *Southwest Microwave* – рис. 8 [15]. Значения понижающих коэффициентов в зависимости от температуры и давления атмосферы на разной высоте относительно уровня моря приведены в табл. 2.

В качестве примера рассчитаем допустимую среднюю пропускаемую мощность широко применяемого соединителя SMA на частоте 8 ГГц при температуре 80 °С

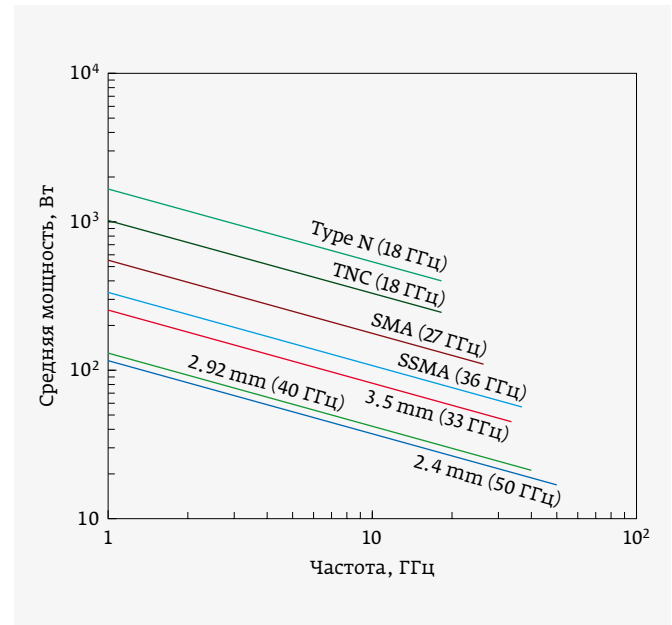


Рис. 8. Средняя мощность соединителей разных типов в зависимости от частоты (компания Southwest Microwave)

и атмосферном давлении 124 мм рт. ст. (на высоте 15,24 км). Сначала определим номинальное значение средней мощности по приведенному графику – 200 Вт. С учетом понижающих коэффициентов – $0,8 \cdot 0,5 = 0,40$ фактическая мощность должна быть равна $200 \cdot 0,4 = 80$ Вт.

Французская компания *Radiall* приводит подробную информацию о средней допустимой пропускаемой мощности кабельных соединителей основных типов

Таблица 2. Понижающие коэффициенты номинальной средней мощности соединителей

Температура, °С	Понижающий коэффициент	Высота, км (давление, мм рт. ст.)	Понижающий коэффициент
0	1,2	На уровне моря (760)	1,0
40	1,0	6,1 (368)	0,8
80	0,8	9,14 (256)	0,7
120	0,6	12,19 (178)	0,6
160	0,4	15,24 (124)	0,5
200	0,2	18,29 (86)	0,4
240	0,05	21,3 (60)	0,3

Таблица 3. Средняя и пиковая мощности соединителей повышенной мощности

Тип соединителя	Средняя мощность, Вт, на частотах				Пиковая мощность, кВт
	100 МГц	500 МГц	1 ГГц	5 ГГц	
SMA, BMA	550	225	170	60	1,2
BZ(L), ZMA(L)	800	375	250	–	2,7 (0–12,4 ГГц) 6,7 (0–2 ГГц)
TNC	1 800	1 375	875	333	2,8
N	3 000	1 750	1 050	500	4,9
C, SC	3 500	2 150	1 500	700	11
7-16	5 000	2 750	1 800	900	20
HN	3 800	2 300	1 600	–	31
LC	6 800	3 600	2 500	–	31
7/8 EIA	5 500	2 800	1 850	–	44

для предельной рабочей частоты, а также поправочные коэффициенты для частоты, КСВН, температуры и давления [7]. Предложены следующие значения этих коэффициентов:

$$C_{\text{КСВН}} = \frac{(\text{КСВН} + 1)^2}{4 \cdot \text{КСВН}^2}, C_T = 1 - \frac{5,0 \dots 7,5(T - 20)}{1000},$$

$$C_h = 1 - 0,033h,$$

где T – температура, °С, h – высота над уровнем моря, км. Для абсолютного вакуума $C_h = 0,2$.

Компания *Amphenol/SV Microwave* является производителем радиочастотных соединителей повышенной мощности. Допустимые средняя и пиковая мощности этих соединителей приведены в табл. 3 [16].

Компания *Amphenol/SV Microwave* достигла увеличения допустимой мощности соединителей за счет использования специальных диэлектриков: фторопласта, армированного стеклом (Fluoropoly H) или нитридом бора [16].

Частотные зависимости средней пропускаемой мощности соединителей 19 типов приведены на рис. 9 [17]. Эти данные интересны тем, что они отражают допустимую среднюю мощность соединителей на частотах до 300 МГц (за пределами диапазона СВЧ).


Наконец, компания *Power Antenna Manufacturing Inc.*, США – разработчик и производитель антенн и периферийных устройств в диапазоне частот от 40 до 2 000 МГц,

создала калькулятор расчета средней пропускаемой мощности соединителей разных типов с волновым сопротивлением 50 Ом [18]. Расчеты выполнены при условии, что КСВН=1,0 и давление сухого воздуха – атмосферное. Однако этот калькулятор выдает заниженные значения средней пропускаемой мощности – средняя мощность соединителя SMA на частоте 8 ГГц составляет всего 33,541 Вт, что значительно меньше, чем у других компаний.

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ РАЗНЫХ КОМПАНИЙ

Точное определение допустимой пропускаемой мощности радиочастотных соединителей является сложной задачей. Чтобы сравнить допустимую среднюю мощность одинаковых соединителей разных производителей,

ООО
СМП



ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИН
www.SMD.ru

электронные компоненты
для поверхностного монтажа

НОВОЕ В ПРОГРАММЕ ПОСТАВОК

- Разборные металлические EMI SMD экраны
- Кварцевые генераторы 0532 на частоты до 125 МГц

Москва, Ленинградский пр., 80 к. 32, e-mail: sale@smd.ru
Тел.: (499) 158-7396, (495) 940-6244, (499) 943-8780

Таблица 4. Средняя мощность соединителей SMA и N по данным разных компаний

Тип соединителя	Источники информации в данной статье						
	[10]	[7, 8]	[12]	[13]	[14]	[15]	[17]
SMA	100	110	120	110	190	180	200
N	270	310	320	320 250	580	580	>500

нужно знать методику ее измерения и условия, при которых мощность была определена. Необходимы данные о температуре, давлении атмосферного воздуха (обычно указывают высоту над уровнем моря, на которой будет работать соединитель) и КСВН, а также соответствующие поправочные (понижающие) коэффициенты мощности.

Сравнение данных о средней допустимой мощности соединителей одинакового типа, представленной разными компаниями (рис. 3–9), выявило значительное расхождение этих данных. В качестве примера в табл. 4 приведены значения средней мощности наиболее применяемых соединителей SMA и N по данным разных компаний. Для удобства работы с графиками сравнение выполнено для частоты 10 ГГц.

Значительное расхождение данных можно объяснить как различием методик измерения средней мощности, так и особенностями конструкции, примененных материалов и покрытий, а также технологии производства соединителей. В спецификациях на соединители компании приводят не допустимую среднюю мощность, а гарантированную номинальную среднюю мощность, которая может отличаться от допустимой мощности в разы.

ДОПУСТИМАЯ ПРОПУСКАЕМАЯ МОЩНОСТЬ КАК ПАРАМЕТР ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

В отечественной технической литературе принято определение «максимальная мощность,

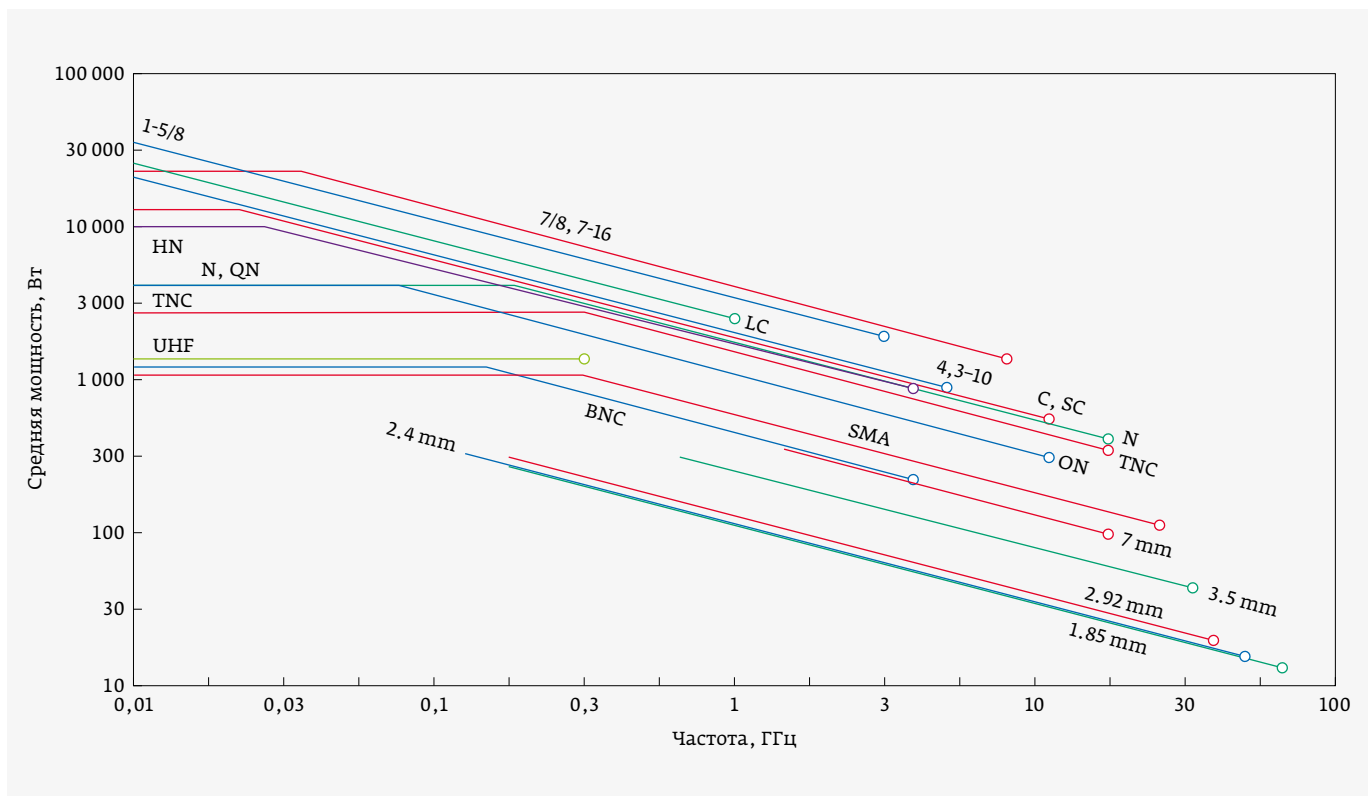


Рис. 9. Частотные зависимости пропускаемой мощности соединителей разных типов

пропускаемая соединителем». В действующем стандарте ГОСТ 20465-85 «Соединители радиочастотные коаксиальные. Общие технические условия» записано: «Максимальная мощность, пропускаемая соединителем, должна быть не менее мощности, пропускаемой кабелем. Конкретное значение пропускаемой мощности устанавливаются в технических условиях на соединитель». Обратимся к техническим условиям ВРО.364.049ТУ «Соединители радиочастотные коаксиальные» ПО «Октябрь», г. Каменск-Уральский – ведущего предприятия страны по разработке и серийному выпуску радиочастотных соединителей. В них сказано: «Максимальная мощность, пропускаемая соединителем, равна мощности пропускаемой соответствующим ему кабелем». Во-первых, в обоих документах сказано лишь о кабельных соединителях. А как быть с коаксиально-микроразъемными переходами, выводами энергии, адаптерами? В ГОСТ 20465-85 об этом нет указаний, а в технических условиях ВРО.364.049ТУ записано, что их мощность должна быть равна мощности отводящей части соединителя, то есть кабельного соединителя. Во-вторых, параметры выпускаемых в нашей стране радиочастотных кабелей, как правило, приведены только для частоты не более 10 ГГц.

Более подробно рассмотрено влияние температуры на пропускаемую мощность. За базовую температуру принята температура 40 °С. При температуре, превышающей 40 °С, величину пропускаемой мощности нужно рассчитывать по формуле:

$$P_t = \frac{t_{\text{доп}} - t}{t_{\text{доп}} - t_0} P_{t_0},$$

где $t_{\text{доп}}$ – допустимая температура для изоляции соединителя, °С;

t – температура окружающей среды, для которой производится перерасчет, °С;

t_0 – температура окружающей среды, равная 40 °С;

P_{t_0} – максимальная мощность, пропускаемая соединителем при температуре 40 °С, Вт.

Таким образом, на вопрос о допустимой средней пропускаемой мощности радиочастотного соединителя отечественный стандарт и технические условия не дают конкретного ответа.

* * *

Приведенные в данной статье значения средней допустимой пропускаемой мощности зарубежных радиочастотных соединителей не являются точными, и их следует использовать только в качестве оценочных данных. Основным документом для определения допустимой мощности радиочастотного соединителя является спецификация (data sheet). Если в спецификации этот параметр отсутствует, что встречается часто, то при выборе

соединителя необходима консультация с его изготовителем.

Для установления допустимой пропускаемой мощности отечественных радиочастотных соединителей было бы полезным разработать методику и провести измерение их максимальной пропускаемой мощности.

В заключение авторы выражают благодарность В. И. Кривошечко за полезные замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Джуринский К. Б.** Современные радиочастотные соединители и помехоподавляющие фильтры / Под ред. д. т. н. Борисова А. А. Изд-во ЗАО «Медиа Группа Файнстрит, Санкт-Петербург. 2014, 426 с.
2. **Джуринский К. Б.** Радиочастотные соединители обратной полярности. Справочные материалы // Современная электроника. 2020. № 8. С. 2–6.
3. **Джуринский К. Б.** Радиочастотные соединители, адаптеры и кабельные сборки. ООО «Ваш Формат». М., 2019. 400 с.
4. Основы радиолокации. Импульсная и средняя мощность. <https://www.radartutorial.eu>.
5. **Gore W. L.** High Power Operation of Coaxial Assemblies, Space flight Applications. www.gore.com.
6. High Power Applications – Megaphase. <https://megaphase.com>.
7. Technology guide for power calculation Technology, <https://www.radiall.com>.
8. Guide to RF Coaxial Connectors and Cables. <https://www.arworld.us>.
9. Барометрическая формула. <http://www.math24.ru>.
10. Power Handling Capability of Maury Coaxial Connectors. Application note / 5D-004, www.maurymw.com.
11. Connector Power Handling vs Frequency – Absolute EMC. <https://absolute-emc.com>
12. **Michael J. Hannon, Pat Malloy.** Application Guide to RF Coaxial Connectors and Cables. <http://www.eastample.com>.
13. AH Systems. Connections in RF testing. www.ahsystems.com.
14. Technical Reference Manual – MegaPhase. www.MegaPhase.com.
15. Average Power Ratings for Coaxial Connectors. www.southwestmicrowave.com.
16. High Power Components Catalog – SV Microwave. / <https://www.svmicrowave.com>.
17. Theory, design, implementation and discussion of RF and high-frequency electronics.
18. RF connector max power vs frequency [OC]. <https://www.reddit.com/r/rfelectronics>.
19. Connector Average Power CW Rating vs Frequency. <http://www.antennas.ca>.