

Зарубежные коаксиальные высоковольтные соединители

Кива Джуринский

В статье рассмотрены области применения высоковольтных соединителей: в приборах для атомной энергетики, медицинских систем визуализации, телекоммуникаций, испытательной и измерительной техники, а также основные требования, предъявляемые к высоковольтным соединителям. Приведены основные параметры соединителей HN, BNC NT/MHV, SHV, THT 20 с напряжением до 20 кВ. Рассмотрены конструктивные особенности этих соединителей. Статья написана на основе открытой доступной информации из зарубежных источников.

Введение

Прежде всего следует определиться, какое напряжение можно считать высоким. Ответ на этот вопрос даёт Международная электротехническая комиссия (IEC) (табл. 1) [1].

Однако то, что представляет собой высокое напряжение, зависит от области применения. На низком уровне напряжение более 50 В, приложенное к сухой неповреждённой коже человека, может вызвать фибрилляцию сердца, если оно создаёт электрические токи в тканях тела, которые проходят через область грудной клетки. С другой стороны, в технике передачи электроэнергии высоким напряжением обычно считается любое напряжение свыше ~35 000 В [1].

Высоковольтные коаксиальные соединители и кабели для совместной работы с соединителями являются специализированными компонентами, незаменимыми для приложений, в которых важна безопасная и эффективная передача энергии при высоком действующем значении напряжения выше 1 кВ [1–4]. Для эффективной передачи энергии (без отражения и потерь) применяемые радиочастотные соединители и кабели должны иметь близкие волновые сопротивления. Для работы с высоковольтными соединителями

применяют гибкие кабели RG58, RG141, RG142, RG214, RG400 и многие другие, а также полужёсткий кабель RG401.

В ряде случаев высоковольтные соединители и кабели должны быть устойчивыми к экстремальным условиям работы: температура от -55°C до 150°C и давление окружающей среды, соответствующее высоте 21,3 км (70 000 футов) [4].

Кроме того, к высоковольтным соединителям предъявляют следующие требования [3–4]:

- минимальные потери при передаче;
- безопасность;
- прочная механическая конструкция, надёжность и долговечность;
- высокая радиационная стойкость (для специальных применений);
- приемлемые стоимость и доступность.

Высоковольтные коаксиальные соединители применяют в различных аэрокосмических, оборонных системах, в системах телекоммуникации, в испытательном и измерительном оборудовании, высоковольтных источниках питания, масс-спектрометрах, плазменных и рентгеновских установках, атомной энергетике и др. [5–14].

Данная статья посвящена рассмотрению следующих высоковольтных коаксиальных соединителей: HN, BNC NT/

MHV, SHV, THT 20 с напряжением до 20 кВ [2].

Соединители HN

Соединитель HN, разработанный в конце 1950-х годов и стандартизированный в соответствии с IEC 60169–2, является высоковольтной версией соединителя N. По размерам он приблизительно на 50% больше соединителя N (рис. 1) [13].

Соединитель HN имеет волновое сопротивление 50 Ом, коаксиальную линию размерами $11 \times 3,35$ мм и резьбовой механизм соединения вилки и розетки (резьба 0,750-20UNEF). Резьбовое соединение обеспечивает надёжное сопряжение вилки и розетки, предотвращая их случайное отсоединение из-за натяжения кабеля и вибрации. Для обеспечения высокой диэлектрической прочности и предотвращения пробоев в конструкции соединителя предусмотрено перекрытие диэлектриков вилки и розетки при их сочленении. На рис. 1 видно, что в соединителе HN фторопластовый изолятор расположен на уровне наружного проводника и даже несколько выступает из него. Предусмотрено также закрепление центрального проводника с целью устранения его перемещения при изменении температуры и при механических воздействиях.

Внешний вид кабельных (кабель марки RG58, RG142 и RG400) соединителей HN вилка и розетка приведён на рис. 2 [10]. Усреднённые значения параметров соединителей HN и других высоковольтных соединителей приведены в табл. 2 [1, 3–20].

Корпус соединителя изготавливают из латуни с покрытием никелем или серебром, реже из пассивированной нержавеющей стали, внутренний гнездовой проводник – из упрочнённой бериллиевой бронзы с серебряным или золотым покрытием. Серебряное покрытие уже давно стало стандартом для радиочастотных соединителей с латунными корпусами, но его высокая стоимость и низкая коррозионная стойкость не позволяют использовать его в соединителях высокой надёжности с длительным сроком хранения.

Таблица 1. Классификация уровней напряжения

Уровни напряжения по классификации IEC	Переменный ток	Постоянный ток	Факторы риска
Высокое напряжение	$> 1000 \text{ Vrms}$	$> 1500 \text{ V}$	Образование электрической дуги
Низкое напряжение	$50\text{--}100 \text{ Vrms}$	$120\text{--}1000 \text{ V}$	Поражение электрическим током
Сверхнизкое напряжение	50 Vrms	$< 120 \text{ V}$	Низкий риск

Примечание: Vrms – среднеквадратичное (действующее) значение напряжения.

Таблица 2. Параметры высоковольтных соединителей

№ п.п.	Тип соединителя	HN	BNC HT/ MHV	SHV	THT 20
Электрические параметры					
1	Волновое сопротивление, Ом	50	Непостоянное значение		50
2	Диапазон рабочих частот, ГГц	0–4	0–0,3	0–0,35	0–1
3	КСВН, ГГц	1,30 (прямые) 1,35 (угловые)	1,35 max	–	–
4	Потери, дБ на частоте f, ГГц	0,1 max	0,3√f (прямые) 0,5√f (угловые)	0,5 max	–
5	Испытательное напряжение постоянного тока, В: вилка, розетка, соединённая пара вилка-розетка	5000 (на уровне моря)	6000 8000 10 000	5000	10 000 10 000 20 000
6	Номинальное напряжение, В	1500	1500	3500	–
7	Номинальная сила тока, А	5	3	10	20
Механические параметры и параметры испытаний					
8	Допустимое количество соединений вилки и розетки	500	500	500	500
9	Вибрация	20g	20g, 2000 Гц	10g, 500 Гц	–
10	Время испытаний в солевом тумане	48 часов	48 часов	48 часов	48 часов
11	Диапазон рабочих температур соединителей с фторопластовым изолятором, °С	–55...+155	–55...+155	–65...+165	–55...+125
12	Механизм соединения вилки и розетки	Резьбовой	Байонетный	Байонетный	Резьбовой
13	Максимальный габаритный размер, мм	51,7	41	57	80,4
<p>Примечание: Указанное в табл. 2 испытательное напряжение соответствует напряжению, полученному при нормальных атмосферных условиях в течение одноминутного испытательного периода [1]. Рабочее напряжение соединителей выбирается пользователем в зависимости от условий их применения. Марки кабелей рекомендуются, исходя из их совместимости с соединителями по габаритным и установочным размерам. Электрические характеристики кабеля необходимо выбирать на основании спецификации его производителя.</p>					

Никелевое покрытие является менее дорогостоящим и более долговечным, чем серебряное покрытие. Однако покрытие соединителя магнитным гальваническим никелем может стать источником нежелательных интермодуляционных искажений. Для замены никеля и серебра применяют покрытие корпусов высоковольтных соединителей сплавом «белая бронза» (сплав медь–олово–цинк). В качестве диэлектрика коаксиальной линии используют фторопласт.

Соединители HN выпускают многие компании: Radiall (Франция), Amphenol, Delta Electronics, Fairview Microwave, Carlisle Interconnect Technologies, Nema Electronics (все США), Huber + Suhner (Швейцария), To-Conne (Япония) и др. В номенклатуре продукции этих компаний следующие соединители: кабельные прямые и угловые розетка и вилка, панельные кабельные розетки, выводы энергии и адаптеры.

Компания Nema Electronics рекламирует 13 модификаций приборно-кабельных фланцевых соединителей HN. Хотя эти соединители рассчитаны на частоту до 10 ГГц, оптимальные параметры гарантируют лишь в диапазоне

частот 0–4 ГГц. Соединители соответствуют стандарту MIL-DTL-3643B, многие версии совместимы со стандартом MIL-C-39012.

Компания Delta Electronics выпускает 18 прямых и 5 угловых кабельных соединителей для разных марок гибких кабелей и 4 вывода энергии [7].

Японская компания To-Conne рекламирует прямые кабельные соединители (кабель марок RG-8/U и RG-17/U), фланцевые выводы энергии и адаптеры [11].

Благодаря высокой надёжности, жёсткой конструкции, способности выдерживать большие механические нагрузки и пропускать мощные радиочастотные сигналы, соединители HN широко применяются [6–14]:

- для передачи сигналов данных от датчиков безопасности в средах, подверженных воздействию ядерной радиации;
- в качестве компонентов базовых станций, систем микроволновой связи, обеспечивая надёжную передачу данных;
- для подключения антенн и передатчиков в системах радио- и телевизионного вещания;
- в различных медицинских устройствах, таких как аппараты МРТ и ди-



Рис. 1. Соединители N и HN



Рис. 2. Кабельные соединители HN: угловая вилка и прямая розетка

агностическое оборудование, для точного сбора и анализа данных;

- для надёжной связи и передачи данных в военных и аэрокосмических приложениях, включая системы связи, радиолокационное оборудование и системы управления полётом;
- в высокочастотных системах тестирования и измерений для точной и надёжной передачи сигналов.

Соединители BNC – HT/MHV

Соединители BNC-HT представляют собой байонетные коаксиальные высоковольтные соединители в диапазоне частот 0–2 ГГц с испытательным напряжением 10 кВ. Конструктивно они похожи на соединители BNC, но имеют выступающие фторопластовые изоляторы, которые должны обеспечивать защиту от контакта с проводниками под напряжением. В связи с этим соединители BNC-HT несовместимы с соединителями BNC.

Компания Radiall расширила ассортимент высоковольтных соединителей, включив в него соединители BNC-HT/MHV. Эти высоковольтные байонетные соединители совместимы с соединителями MHV и соответствуют действующим международным стандартам.

Соединители MHV (Miniature High Voltage – миниатюрные высоковольтные соединители) были разработаны в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века. Точная дата их создания оста-



Рис. 3. Соединители BNC (а), MHV (б) и SHV (в)



Рис. 5. Кабельные соединители BNC HT/MHV вилка и розетка

ётся неясной, но есть основания предполагать, что разработка соединителей BNC и MHV происходила одновременно в американской компании Bell Labs [15].

Конструктивно соединители MHV похожи на соединители BNC. Они так же, как и соединители BNC, имеют два выступа на корпусе розетки. Полное соединение вилки и розетки достигается поворотом накидной гайки вилки на четверть оборота. Отличие состоит в том, что в соединителях MHV изоляторы вилки и розетки в сочленённом положении перекрывают друг друга, а центральные контакты смещены внутрь изоляторов для уменьшения возможности высоковольтного пробоя. Соединители MHV можно распознать по слегка выступающей изоляции на вилке и немного другой длине на розетке – рис. 3 (а, б). Интерфейс соединителей MHV показан на рис. 4.

Соединители MHV соответствуют международному стандарту MIL-STD-348B, их основные параметры приведены в табл. 2.

Кабельные соединители MHV предназначены для работы с кабелями марки RG-58, RG-141, RG-142, RG-59/U, RG-62/U, RG-62A. Для повышения прочности диэлектрической изоляции и снижения уровня пробоев некоторые коаксиальные кабели изготавливают с более толстой изоляцией. На рис. 5 показан внешний вид кабельных соединителей BNC HT/MHV [3].

Соединители MHV выпускают многие компании: Radiall (Франция), Amphenol, Pasternack, RF Industries, Kings Electronics (все США), Huber + Suhner (Швейцария) и др. В номен-

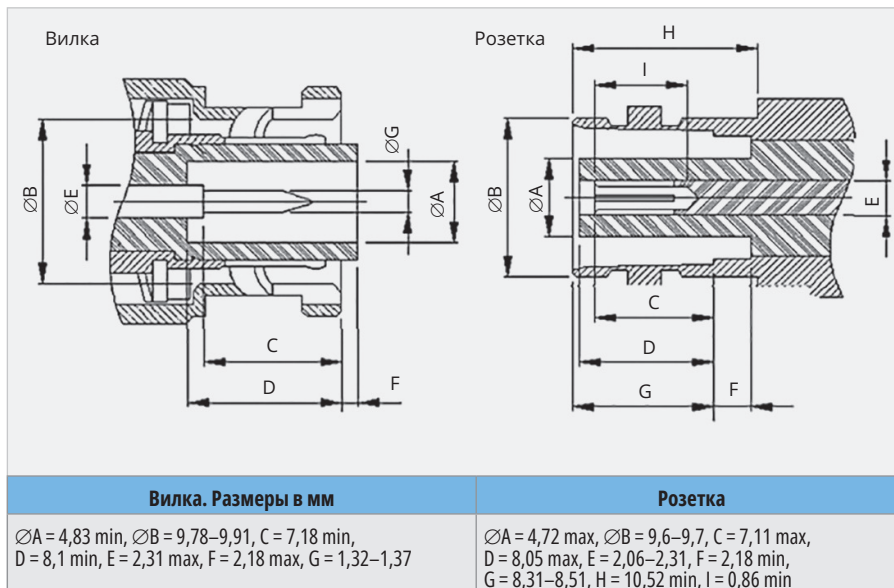


Рис. 4. Интерфейс соединителей MHV

клатуре продукции этих компаний следующие соединители: кабельные прямые и угловые, розетка и вилка, панельные кабельные розетки, выводы энергии и адаптеры.

Компания Radiall выпускает 10 модификаций кабельных соединителей MHV вилка и розетка для разных марок кабелей и способов их встраивания в соединитель, а также 3 вывода энергии и внутрисерийные адаптеры [2].

Компания Amphenol производит 11 типов кабельных соединителей MHV: розетки – 7, вилки – 4, прямые соединители – 10, угловые – 1. Соединители предназначены для установки прижимом гибких кабелей RG-58, RG-59, RG-62 – 6 и пайкой полужёсткого кабеля RG-141. Кроме того, разработаны 2 фланцевых вывода энергии, фланцевая кабельная розетка, 2 проходные розетки, 2 прямые вилки и 2 угловые кабельные вилки.

Соединители MHV применяют для высоковольтных лабораторных исследований, в военной, атомной и медицинской электронике (счётчики Гейгера, рентгеновская аппаратура, аппаратура для ядерно-физических исследований), в испытательной и измерительной технике.

Однако следует отметить, что соединитель MHV представляет потенциальную угрозу безопасности оператора при нарушении им условий эксплуатации соединителя в связи с двумя факторами [15]:

- 1) когда вилка и розетка ещё не соединены, существует вероятность наличия высокого напряжения на открытом центральном контакте розетки.

Это создаёт риск для безопасности в случае случайного прикосновения к этому контакту;

- 2) при рассоединении вилки и розетки соединителей MHV сначала отсоединяются наружные проводники (заземление), прежде чем разрывается соединение по высокому напряжению. Это создаёт риск безопасности при случайном прикосновении.

Несмотря на конструктивные различия, были случаи, когда вилку и розетку соединителей BNC и MHV сочленяли с применением грубой силы. Это создавало угрозу безопасности, поскольку пользователь мог случайно (или намеренно) подключить кабель низкого напряжения к соединителю высокого напряжения [15].

Для повышения безопасности работы с высоким напряжением были разработаны соединители SHV.

Соединители SHV

Соединители SHV (Safe High Voltage – безопасные высоковольтные) внешне похожи на соединители BNC и MHV: во всех трёх соединителях используется байонетное соединение вилки и розетки. Однако соединители SHV отличаются благодаря сильно выступающему фторопластовому изолятору меньших размеров (рис. 3в). Центральные контакты достаточно глубоко утоплены в изоляторах, что предотвращает опасность поражения электрическим током в несоединённом состоянии вилки и розетки. При соединении вилки и розетки контакт наружных проводников осуществля-

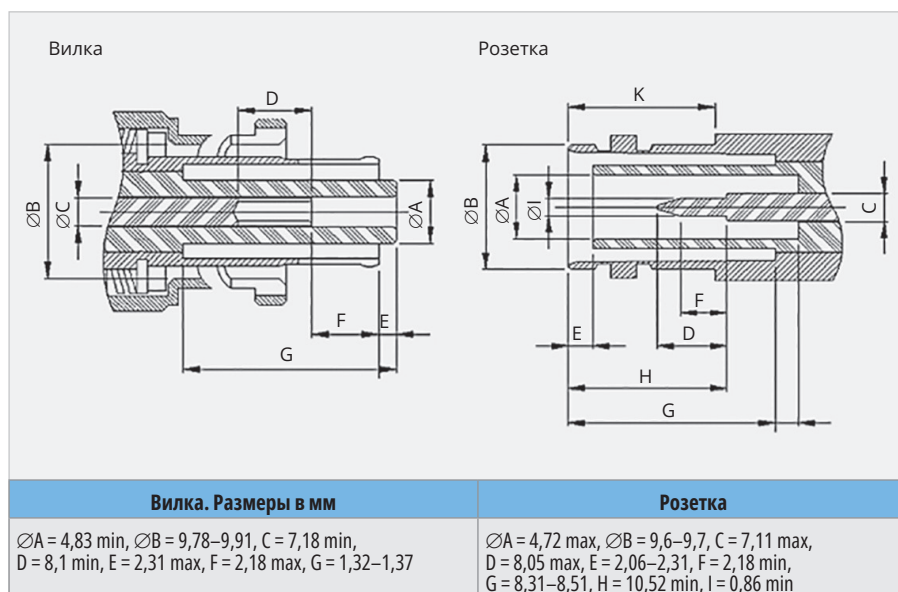


Рис. 6. Интерфейс соединителей SHV обратной полярности вилки и розетки



Рис. 7. Кабельные соединители SHV вилка и розетка

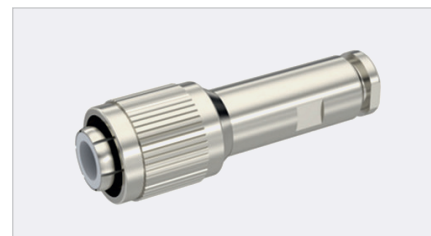


Рис. 8. Соединитель THT 20 розетка

ется раньше, чем контакт внутренних проводников [15–17]. Кроме того, соединители SHV являются соединителями обратной полярности [16]. Благодаря этому соединители SHV более безопасны для работы с высоким напряжением, чем соединители MHV. Соединители SHV несовместимы с соединителями BNC и MHV.

Интерфейс вилки и розетки соединителей SHV обратной полярности показан на рис. 6 [15].

Кабельные соединители SHV вилка и розетка показаны на рис. 7.

Соединители SHV выпускают многие компании: Radiall (Франция), Amphenol, Pasternack, Isotech, Fairview Microwave (все США), Huber + Suhner (Швейцария), hivolt.de (Германия) и др. В номенклатуре продукции этих компаний кабельные прямые розетка и вилки для гибкого кабеля разных марок, панельные кабельные розетки, выводы энергии и адаптеры. Компания Radiall выпускает кабельные вилки – 3, розетки – 2, выводы энергии – 2 и один внутрисерийный адаптер [2]. Компания Isotech предлагает кабельные вилки – 6, кабельные розетки – 4, фланцевый вывод энергии – 1 [17].

Соединители SHV используют в приборах для ядерных исследований, испытательном и измерительном оборудовании, высоковольтных источниках питания и усилителях.

Соединители THT 20

Соединители THT 20 были разработаны компанией Radiall [2, 20]. Это самые большие соединители из всех рассмотренных ранее с резьбовым

механизмом соединения вилки и розетки. Наружный диаметр внутреннего гнездового проводника этого соединителя – 4 мм. Корпус соединителя изготовлен из латуни и покрыт никелем, гнездовой проводник – из термостойкой бериллиевой бронзы с серебряным покрытием, изолятор – из фторопласта. Внешний вид соединителя THT 20 розетка показан на рис. 8 [20]. Основные параметры соединителей THT 20 приведены в табл. 2.

Компания Radiall выпускает следующие соединители THT 20: прямая и угловая кабельные вилки для соединения прижимом гибкого кабеля марок RG11, RG12, RG144 и др. и два вывода энергии: фланцевый и проходной (рис. 8). Эти соединители применяют в электронных устройствах высокой мощности, испытательной и измерительной аппаратуре.

Об опасности работы с высоковольтными соединителями

При создании и эксплуатации высоковольтных соединителей с напряжением до 20 000 В безопасность всегда является главной заботой. При повышенных уровнях напряжения и мощности распространёнными нежелательными эффектами, с которыми приходится иметь дело, являются скачкообразное возрастание тока, искрение, корона, плазма и газообразный озон [1]. Вокруг высоковольтного проводника образуется корона, за которой следует пробой диэлектрика, что приводит к образованию дуги и катастрофическому повреждению.

Коронный разряд

Коронный разряд – это электрический разряд, вызываемый ионизацией воздуха, окружающего электрически заряженный проводник. Корона возникает, когда напряжённость электрического поля вокруг проводника достаточно высока, чтобы образовать проводящую область, но ещё недостаточна, чтобы вызвать электрический пробой или образование дуги. Коронный разряд также может возникать из-за ионизации воздуха в диэлектрике или на границе раздела внутри соединителя [1].

Образование дуги и пробой диэлектрика

Электрическая дуга (дуговой разряд) – это электрический пробой газа, который приводит к непрерывному плазменному разряду, возникающему в результате прохождения тока через обычно непроводящие среды, такие как воздух, пробой которого происходит при напряжённости поля $\approx 3 \text{ кВ/мм}$. В случае твёрдой среды, такой как фторопласт с высокой диэлектрической прочностью (23,6 кВ/мм при толщине 1,5 мм) [1], пробой происходит, когда напряжённость поля достаточно велика, чтобы вызвать дугу через диэлектрик между проводником и землёй. Этот отказ является катастрофическим, поскольку при протекании тока через диэлектрик образуются пустоты, заполненные углеродом, и диэлектрик не выдерживает высокого напряжения.

Таким образом, применение высоковольтных соединителей требует особой осторожности и соблюдения правил безопасной работы.

Заключение

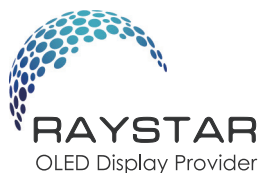
При изучении спецификаций разных компаний следует отметить существенное расхождение параметров соединителей одного и того же типа. Так, например, в работе [9] верхняя частота применения соединителей HN – всего 0,5 ГГц, в работе [8] – 10 ГГц. Но в большинстве работ верхняя частота применения – 4 ГГц. Есть путаница с величиной волнового сопротивления соединителей MHV и SHV. Некоторые компании (Amphenol и др.) отмечают, что волновое сопротивление имеет непостоянное значение, а не 50 Ом. Есть расхождения и с величиной рабочего напряжения соединителей одного типа. Поэтому в табл. 2 приведены типичные параметры высоковольтных соединителей.

Высоковольтные соединители необходимы для многих применений. Медицинские устройства, такие как рентгеновские аппараты и МРТ-сканеры, нуждаются в них для подачи высокого напряжения для получения детализированных изображений. Аэрокосмическим инженерам нужны надёжные высоковольтные соединители для питания спутников и радио-

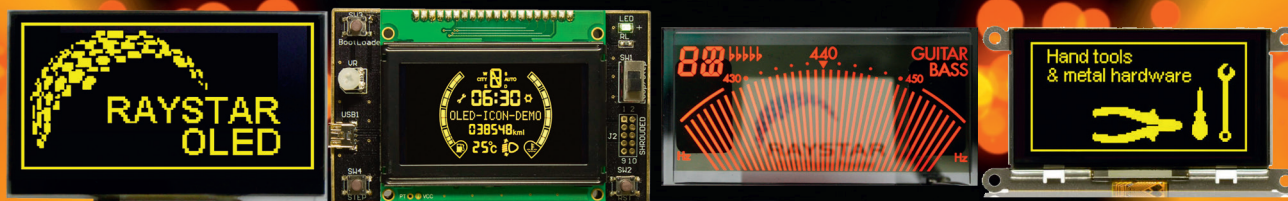
локационных систем. В телекоммуникациях специалисты используют эти соединители для передачи сигнала в оборудовании сетевой инфраструктуре [21].

Литература

1. Philavanh V. High-Voltage Connector Types & Design Issues. 13 авр. 2015 г. URL: www.arrow.com/en.
2. High Voltage Connectors – Radiall – PDF Catalogs. URL: pdf.medicalexpo.com.
3. Understanding High Voltage Connectors: Usage and Safety Considerations Posted: February 26, 2024.
4. What are High Voltage Connectors? URL: www.radiall.com.
5. Type HN Series Connectors Nema1 Electronics. URL: <https://nema1.com>.
6. ECS HN Connectors - Amphenol CIT. Carlisle Interconnect Technologies. URL: <https://www.amphenol-cit.com>.
7. HN for pdf with links. URL: marchelectronics.com/pdf/delta.
8. HN series RF coaxial connectors. Automatic Connector. URL: <https://www.automaticconnector.com>.
9. HN-Type Connectors. URL: www.antenna-connector.com.
10. HN Connectors: Reliable Choice for High-Frequency. RFAC Solutions. URL: <https://rfacdepot.com>.
11. To-Conne Co., Ltd. URL: www.to-conne.co.jp.
12. What Is HN RF Connector - LenoRF Industry co., Ltd. URL: www.rfcnn.com.
13. Clarke B. Connectors for Military Electronics. URL: <https://www.prc68.com>.
14. High voltage connector types. RBD Instruments. May 8, 2016. URL: <https://www.rbdinstruments.com>.
15. What Is MHV RF Connector – LenoRF Industry co., Ltd. URL: <https://www.rfcnn.com>. 19.09.23 г.
16. Джурицкий К. Радиочастотные соединители обратной полярности. Справочные материалы // Современная электроника. 2020. № 8. С. 2–6.
17. SHV Coaxial Connectors by Isotec. URL: <http://isoconnector.com>.
18. High Voltage Connector 57 SHV Series. URL: <https://www.hivolt.de>.
19. Coaxial Connector SHV, 50 Ohm. URL: <https://www.hubersuhner.com>.
20. THT 20 / Female Straight Plug. Radiall. URL: <https://www.radiall.com>.
21. 3 Things To Know About High-Voltage Connectors. URL: www.hvmtech.com. ©



OLED-дисплеи Raystar



Специсполнение по ТЗ заказчика

Прозрачные модели

АВТОМОБИЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА • СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ • ИЗМЕРИТЕЛИ МОЩНОСТИ • БЫТОВАЯ ТЕХНИКА • МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ

Характеристики

- Яркость экрана до 150 кд/м² обеспечивает считывание изображения при ярком солнечном свете
- Высокая контрастность 10 000:1
- Широкий угол обзора до ±175°
- Цвет свечения: жёлтый, зелёный, красный, белый, синий
- Формат изображения: 122×32, 128×64, 240×64, 256×64 и 96×64 точки

- Низкая потребляемая мощность 10 мА (схемы управления – токовые)
- Светоэмиссионная схема: не требуется система подсветки
- Короткое время отклика: 10 мкс при температуре +25°C
- Широкий диапазон рабочих температур от –40 до +80°C
- Малая толщина модуля дисплея, небольшой вес
- Срок службы: 50 000 ч для белого и синего цвета; 100 000 ч для жёлтого, зелёного, красного цветов

PROCHIP
POWERED BY PROSOFT

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

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



Реклама