

# Кабели и кабельные сборки компании Radiall.

## Часть 2. Сборки на основе кабелей с низкими потерями и измерительные сборки

Кива ДЖУРИНСКИЙ,  
к. т. н.  
Анатолий КАЛИНИН  
info@radiall.ru  
Роман ГУРА  
roman@radiall.ru

В первой части нашей статьи [1] рассмотрены стандартные радиочастотные кабели и кабельные сборки компании Radiall. Кроме того, компания является одним из немногих в мире производителей гибких кабелей и сборок с ультранизкими потерями и измерительных сборок для диапазона частот до 40 ГГц. Кабели и сборки, выпускаемые Radiall, отличаются высоким уровнем параметров и большим сроком службы. Благодаря этому они нашли применение в линиях передачи для систем телекоммуникации, спутниковой аппаратуры, измерительной и военной технике. Рассмотрению кабелей и сборок с ультранизкими потерями и измерительных кабелей и сборок посвящена вторая часть данной статьи. Материалы, приведенные в этой статье, могут быть использованы разработчиками радиоэлектронной и радиоизмерительной аппаратуры в качестве справочных.

### Кабели с ультранизкими потерями

Создание кабелей с ультранизкими потерями (SHF low-loss cables) стало возможным благодаря разработке технологии навивки изоляции из ленточного фторопласта или полиэтилена низкой плотности (вспененных материалов) [2]. Свойства монолитных и вспененных диэлектриков, применяемых при изготовлении кабелей, приведены в таблице 1 [2, 3].

При изготовлении кабелей ведется постоянный контроль плотности диэлектрика, усилия натяжения ленты и режима навивки.

Для кабелей, работающих в сложных условиях окружающей среды, компания создала ряд оригинальных оболочек и защитных экранов.

Radiall разработала и выпускает 5 групп кабелей с ультранизкими потерями и сборок на их основе [2]:

1. Общего применения.
2. Для наружного применения (Outdoor).
3. Для применения в летательной бортовой аппаратуре (Airframe).
4. Облегченные (Lightweight).
5. Измерительные кабели и кабельные сборки (TestPro).

Конструкция кабелей, их вес и допустимый радиус изгиба приведены в таблице 2.

Для изготовления кабелей общего применения (General Interconnect) Radiall применяет следующие материалы:

- Центральный проводник — медный провод или набор свитых тонких медных проводов, покрытых серебром; навитая медная лента, покрытая серебром (для соединителей SHF13 и SHF13A).
  - Диэлектрик — ленточная навивка из фторопласта или полиэтилена низкой плотности.
  - Внутренний экран (наружный проводник) — навитая медная лента, покрытая серебром.
  - Наружный экран — медная оплетка, покрытая серебром.
  - Оболочка — фторэтиленпропилен, поливинилхлорид; полиуретан, полиамид.
- Кабели, работающие при повышенных механических нагрузках и при воздействии

агрессивной окружающей среды, армируют дополнительно. Армированные кабели (armored cables) имеют 3 дополнительных защитных слоя: оплетку из нержавеющей стали, оболочку из зеленого фторэтиленпропилен и наружную оболочку из черного полиэтилена.

Армированные кабели SHF5MR и SHF8MR, применяемые в инструментальных сборках, имеют достаточно высокие показатели стабильности параметров: при номинальной фазе 1400°/м/ГГц фазовая стабильность при изменении температуры — менее 1°/м/ГГц.

Кабели Outdoor предназначены для наружного применения (на открытом воздухе) в жестких условиях окружающей среды. Их применяют в корабельных антеннах и радарах, в активных фазированных решетках. Эти кабели имеют высокую амплитудную стабильность (менее 0,005 дБ/ГГц) при изгибе по допустимому радиусу и после изгиба, незначительное увеличение потерь при изменении температуры (менее 0,2%/°C) и экранированное затухание менее -90 дБ на частотах до 18 ГГц. В этих кабелях применены: дополнительная оплетка из меди, покрытая серебром, промежуточная ленточная оболочка из полиэстера и наружная оболочка из полиуретана.

Кроме того, компанией Radiall создано 2 типа дополнительных защитных оболочек FLEXJACK и PROJACK (табл. 3). Оболочки FLEXJACK и PROJACK (Armor option) до-

Таблица 1. Свойства диэлектриков, применяемых в кабелях

Диэлектрик	$\epsilon$	Фактор потерь $\epsilon \times \text{tg} \delta$	Удельная емкость, пФ/м	Допустимая температура, °C
Фторопласт	2,07	0,0003	95,7	-65...+250
Вспененный фторопласт	1,4–1,6	0,00005	82,5	-65...+250
Полиэтилен	2,3	0,0003	99	-40...+85
Вспененный полиэтилен	1,4–1,7	0,0001	79	-40...+85
Фторэтиленпропилен	2,1	0,0007	—	-65...+200
Вспененный фторэтиленпропилен	1,4–1,7	0,0007	—	-65...+200

Таблица 2. Диаметр, вес и допустимый радиус изгиба SHF и Test Pro кабелей

№ п. п.	Группа кабелей	Фирменное обозначение	Максимальный диаметр, мм	Вес кабеля, г/м	Рекомендуемый радиус изгиба, мм
<b>Кабели с одиночным центральным проводником</b>					
1	SHF2,4M	F1703185	2,45	14	10
2	SHF3M	F1703163	3,5	29	12,5
3	SHF4,2M	F1703194	4,2	45	25
4	SHF5M	F1703159	5,2	60	25
5	SHF8M	F1703160	7,6	130	40
<b>Кабели с центральным проводником в виде набора проводов</b>					
1	SHF3	F1703107			
2	SHF5	F1703183	5,25	72	25
3	SHF8	F1703197	7,80	140	40
4	SHF13	F1703186	13,8	280	60
<b>Армированные кабели</b>					
1	SHF5MA/10	F1709-69	7,2	120	60
2	SHF5MR	F1703159GR	5,85	73	25
3	SHF8MA/10	F170968	10	205	100
4	SHF8MR	F1703160GR	8,5	155	40
5	SHF13A	F1709-70	18	410	90
<b>Кабели Outdoor</b>					
1	SHF5OD	F1703202	6,25	78	25
2	SHF5MOD	F1703205	5,90	68	25
3	SHF8OD	F1703210	8,90	155	40
4	SHF8MOD	F1703206	8,60	135	40
<b>Кабели Airframe</b>					
1	SHF5MAF	F1703211	7,40	74	25
2	SHF8MAF	F1703212	9,90	130	40
<b>Кабели Lightweight</b>					
1	SHF5MLW	F1703226	4,90	49	25
2	SHF8MLW	F1703218	7,30	105	40
<b>Кабели TestPro</b>					
1	TestPro 4.2 (фазостабилизатор)	F1100001	4,81	60	25
2	TestPro 5	F1703159GR	5,85	73	25
3	TestPro 8	F1703160GR	8,50	155	40

статочны гибки и при этом имеют высокое сопротивление на разрыв, прочны, стойки к абразивному износу и к воздействию агрессивной внешней среды. Рекомендуемый радиус изгиба кабелей с оболочками PROJACK 5 или FLEXJACK 5 — 25 мм, с PROJACK 8 или FLEXJACK 8 — 38 мм.

Кабели Airframe предназначены для применения в составе кабельных сборок для радаров и антенн пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов и размещаются в незащищенных отсеках. К сборкам предъявляют требования герметичности, небольшого веса и большого срока службы. Эти кабели также могут быть усилены при помощи защитных оболочек FLEXJACK и PROJACK.

Кабели Lightweight созданы для электронных систем летательных аппаратов, для которых важны массо-габаритные характеристики кабеля. Для снижения веса в кабелях применена пленочная оплетка вместо проволочной и снижен вес оболочки. Кабели

Таблица 3. Оболочки FLEXJACK и PROJACK

Типовое фирменное обозначение	Материал оплетки и оболочки	Усилие разрушения, Н/100 мм	Усилие разрыва, Н	Наружный диаметр, мм (для кабелей)	Вес, г/м	Рабочий диапазон температур, °С
<b>FLEXJACK</b>						
FLEXJACK 5 G930RV11	Пружина из стали с гальваническим покрытием. Оболочка из прозрачного поливинилхлорида	2000	300	12,0	110	-40...+85
FLEXJACK 8 G931RV11				16,5	180	
<b>PROJACK</b>						
PROJACK 5 G940RP10	Пружина и оплетка из нержавеющей стали, оболочка из черного полиуретана	2500	900	11	190	-55...+100
PROJACK 8 G941RP10				15	340	

Lightweight имеют меньшие размеры и весят на 15–20% меньше кабелей общего применения, а их электрические параметры аналогичны параметрам кабелей общего применения и Outdoor.

Кабель TestPro 4.2 имеет малые потери в диапазоне частот до 20 ГГц и, благодаря тройному экрану, высокий уровень экранирования (-100 дБ). По сравнению с другими гибкими кабелями TestPro 4.2 имеет наилучшее сочетание КСВН, величины потерь и фазовой стабильности при изгибе и воздействии вибраций.

У кабелей TestPro 5 и TestPro 8 ультранизкие потери и высокая фазовая стабильность при изгибе кабеля и изменении температуры.

Для применения при высоких механических нагрузках и в условиях агрессивной окружающей среды эти кабели могут быть усилены защитной оболочкой, соответственно, PROJACK 5 или FLEXJACK 5 и PROJACK 8 или FLEXJACK 8.

Электрические параметры кабелей всех типов приведены в таблице 4.

### Сборки на основе кабелей SHF с ультранизкими потерями

Более 30 лет тому назад компания Radiall начала разрабатывать и выпускать сборки на основе кабелей серии SHF с ультранизкими потерями, предназначенные для применения

Таблица 4. Электрические параметры SHF-кабелей компании Radiall

№ п. п.	Группа кабелей	Фирменное обозначение	Электрические параметры						Емкость, пФ/м	Напряжение пробоя, В, более	Экранное затухание, дБ	Рабочий диапазон температур, °С	
			Максимальная величина потерь, дБ/м Допустимая мощность, Вт, на частотах, ГГц										
			0–4	4–8	8–12,4	12,4–18	18–26,5	26,5–40					
<b>Кабели с одиночным центральным проводником</b>													
1	SHF2,4M	F1703185	1,28/130	1,86/90	2,36/75	2,91/60	3,62/50	4,59/35	87	—	-90	-70...+200	
2	SHF3M	F1703163	0,81/200	1,19/140	1,53/120	1,91/90	2,41/80	3,11/60	88	—			
3	SHF4,2M	F1703194	0,68/310	1,01/220	1,30/180	1,63/150	2,07/140	2,24/110 (на 30 ГГц)	91	1500			
4	SHF5M	F1703159	0,46/420	0,66/300	0,84/240	1,02/200	1,27/190	—	79	2300			
5	SHF8M	F1703160	0,30/800	0,44/560	0,55/450	0,68/380	—	—	3300	—			
<b>Кабели с центральным проводником в виде набора проводов</b>													
1	SHF3	F1703107	1,04/180	1,51/125	1,91/100	2,35/80	2,92/70	3,70/50	85	1600	-90	-70...+200	
2	SHF5	F1703183	0,54/400	0,79/280	1,00/230	1,24/190	1,55/180	—	85	2500			
3	SHF8	F1703197	0,38/720	0,56/510	0,72/410	0,90/340	—	—	85	3500			
4	SHF13	F1703186	0,20/1300	0,30/900	—	—	—	—	78	10000			
<b>Армированные кабели</b>													
1	SHF5MA/10	F1709-69	0,46/420	0,66/300	0,84/240	1,02/200	1,27/190	—	79	2300	-90	-50...+105	
2	SHF5MR	F1703159GR							85	2000			
3	SHF8MA/10	F170968	0,30/800	0,44/560	0,55/450	0,68/380	—	—	79	3300			-50...+105
4	SHF8MR	F1703160GR							78	3300			-70...+200
5	SHF13A	F1709-70	0,20/1300	0,30/900	0,33/830 (на 9,5 ГГц)	—	—	—	78	10000			-55...+100
<b>Кабели Outdoor</b>													
1	SHF5OD	F1703202	0,54/80	0,79/55	1,00/45	1,24/40	1,55/35	—	85	2500	-90	-55...+100	
2	SHF5MOD	F1703205	0,46/85	0,66/60	0,84/50	1,02/40	1,27/35	—	79	2300			
3	SHF8OD	F1703210	0,38/140	0,56/60	0,72/80	0,90/70	—	—	—	—			
4	SHF8MOD	F1703206	0,30/160	0,44/110	0,55/90	0,68/75	—	—	—	—			
<b>Кабели Airframe</b>													
1	SHF5MAF	F1703211	0,46/85	0,66/60	0,84/50	1,02/40	1,27/35	—	79	2300	-90	-55...+100	
2	SHF8MAF	F1703212	0,30/160	0,44/110	0,55/90	0,68/75	—	—	3300	—			
<b>Кабели Lightweight</b>													
1	SHF5MLW	F1703226	0,46/420	0,66/300	0,84/240	1,02/200	1,27/190	—	79	2300	-90	-70...+200	
2	SHF8MLW	F1703218	0,30/800	0,44/560	0,55/450	0,68/380	—	—	3300	—			
<b>Кабели TestPro</b>													
1	TEST PRO 4,2	F1100001	0,79/210	1,17/150	1,52/120	1,90/95	2,03/80 (на 20 ГГц)	—	95	—	-100	-55...+200	
2	TEST PRO 5	F1703159GR	0,46/420	0,66/300	0,84/240	1,02/200	1,27/190	—	79	2300	-90	-70...+200	
3	TEST PRO 8	F1703160GR	0,30/800	0,44/560	0,55/450	0,68/380	—	—	3300	—			

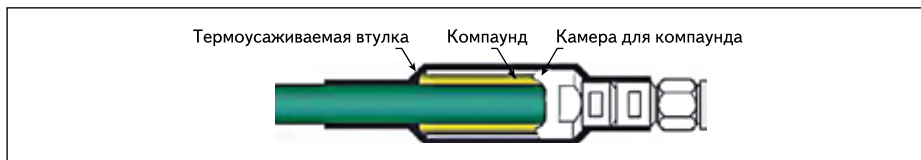


Рисунок. Конструкция области заделки кабеля серии SHF в соединитель

большая длина кабеля (для дистанционных измерений).

Для повышения срока службы сборок в кабелях TestPro 5 и TestPro 8 используют защитные оболочки PROJACK или FLEXJACK.

В сборках TestPro компания Radiall применяет соединители серий SMA, N и PC7. Корпуса всех соединителей изготавливают только из качественной нержавеющей стали с пассивированной поверхностью. Сочетание этих соединителей и способа заделки в них кабеля при помощи компаунд-камеры (рисунок) обеспечивает большой срок службы и надежность сборок. Radiall гарантирует не менее 5000 соединений и рассоединений сборок TestPro с ответными соединителями.

в аэрокосмической и военной технике, в медицинской и радиоизмерительной аппаратуре. Для этих сборок были специально разработаны соединители всех известных серий, приспособленные для сочетания с кабелями SHF.

Radiall разработала оригинальную конструкцию области заделки кабеля в соединители — компаунд-камеры (рисунок), что позволило создать герметичные сборки с большим сроком службы, повышенной водонепроницаемостью, защищенные от механических и температурных воздействий.

Кабельные сборки компании Radiall приведены в таблице 6. Компания не поставляет по отдельности соединители, предназначенные для сборок с кабелями с ультранизкими потерями.

Для приложений космического назначения компания Radiall предлагает сборки на основе полужестких кабелей 0,085" и 0,141", а также гибких кабелей с низкими потерями серии SHF. В зависимости от мощности передаваемого сигнала такие кабельные сборки могут быть армированы соединителями серий SMA, SMA 2,9 и TNC. Кабельные сборки Radiall соответствуют стандарту ESSC-Q-70-18A.

### Измерительные кабельные сборки TestPro

Radiall разработала серию кабельных сборок TestPro для применения в радиоизмерительной и метрологической аппаратуре [4]. Эти сборки отличаются большим сроком службы, повышенной прочностью, износостойкостью и коррозионной стойкостью. Стабильность фазовых и амплитудных характеристик сборок определяется характеристиками кабелей TestPro (табл. 5).

Таблица 5. Стабильность параметров кабелей и сборок TestPro

Параметр	Тип кабеля		
	TestPro 4.2	TestPro 5	TestPro 8
Рабочий диапазон частот, ГГц	0–20	0–26,5	0–18
Изменение фазы при изгибе (на частоте 18 ГГц)	2°	7°	7°
Амплитудная стабильность, дБ, (на частоте 18 ГГц), менее	0,02	0,05	
Фазовая стабильность при изгибе, менее	0,17°/360°/ГГц	0,4°/360°/ГГц	
Стабильность затухания при изгибе, менее	0,015 дБ (на 18 ГГц)	0,05 дБ (на 18 ГГц)	0,05 дБ (на 18 ГГц)
		0,1 дБ (на 26,5 ГГц)	
Стабильность затухания при воздействии вибрации, менее	0,01 дБ/м (на 18 ГГц)	0,01 дБ/м (на 18 ГГц)	0,01 дБ/м (на 18 ГГц)
		0,015 дБ/м (на 26,5 ГГц)	
Фазовая стабильность при изменении температуры	—	1°/м/ГГц (–55...+100 °С)	

Фазостабильные сборки TestPro 4.2 (табл. 6) предназначены для применения в лабораторной аппаратуре и для измерительных стендов, работающих на частотах до 20 ГГц. Сборки с ультранизкими потерями TestPro 5 (пределная частота 26,5 ГГц) и TestPro 8 (пределная частота 20 ГГц) применяют, когда требуется

Таблица 6. Фазостабильные сборки

Группа кабелей	Серии соединителей													
	SMP	SSMA	SMA 2,9	MMCX	MCX	SMB	SMC	SMA	QMA	BMA	BNC	TNC	N	QN
Количество типов кабельных сборок, шт.														
Сборки на основе кабелей с ультранизкими потерями														
SHF2,4M	11	3	—	1	11	4	3	11	4	3	—	2	2	—
SHF3, SHF3M	1	—	5	—	—	—	—	10	—	1	1	2	—	—
SHF4,2M	—	—	—	—	—	—	—	14	6	4	—	3	10	5
SHF5, SHF5M, SHF5MR	—	—	—	—	—	—	—	12	—	7	—	12	11	—
SHF5MA/10	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	3	3	—
SHF8, SHF8M, SHF8MR	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—	—	11	11	—
SHF8MA/10	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	3	3	—
SHF13, SHF13A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1	—
Инструментальные сборки														
SHF5MR без оболочки PROJACK	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	3	3	—
SHF5MR с оболочкой PROJACK	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	3	3	—
SHF8MR без оболочки PROJACK	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	3	3	—
SHF8MR с оболочкой PROJACK	—	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	3	3	—

Примечание. «—» — означает отсутствие кабельных сборок.

Таблица 7. Измерительные сборки TestPro

№ п.п.	Соединители на концах кабеля	Фирменное обозначение сборки	Длина сборки, м	Потери, дБ, в диапазоне частот 20 Гц – 18 ГГц	КСВН на частоте 18 ГГц	Допустимая мощность, Вт, на частоте 18 ГГц
TestPro 4.2						
1	SMA вилка — SMA вилка	R288940034	0,59	0,42–1,39	1,20	70
		R288940001	0,91	0,59–1,96		
		R288940002	1,18	0,65–2,51		
		R288940003	1,83	1,08–3,65		
2	SMA вилка — N вилка	R288940035	0,59	0,42–1,39	1,25	—
		R288940004	0,91	0,59–1,96		
		R288940005	1,18	0,65–2,51		
		R288940006	1,83	1,08–3,65		
3	N вилка — N вилка	R288940007	0,91	0,59–1,96	1,30	—
		R288940008	1,18	0,65–2,51		
		R288940009	1,83	1,08–3,65		
		R288940010	0,91	0,59–1,96		
4	PC7 вилка — PC7 вилка	R288940011	1,18	0,65–2,51	1,25	—
		R288940012	1,83	1,08–3,65		
		R288940013	0,91	0,59–1,96		
		R288940014	1,18	0,65–2,51		
5	PC7 вилка — SMA вилка	R288940015	1,83	1,08–3,65	1,30	—
		R288940016	0,91	0,59–1,96		
		R288940017	1,18	0,65–2,51		
		R288940018	1,83	1,08–3,65		
TestPro 5						
1	SMA вилка — SMA вилка	R288931001	1,0	0,42–1,25	1,20	130
2	N вилка — N вилка	R288931002			1,25	140
3	N вилка — SMA вилка	R288931003			—	—
TestPro 8						
1	SMA вилка — SMA вилка	R288931004	1,0	0,31–0,91	1,25	145
2	N вилка — N вилка	R288931005				160
3	N вилка — SMA вилка	R288931006				—

телями без ухудшения параметров сборки. Параметры измерительных сборок TestPro приведены в таблице 7.

### Контроль качества

Параметры кабелей и кабельных сборок компании Radiall обеспечиваются строгим контролем технологического процесса их изготовления на основе международных стандартов качества ISO9001/ASN9100. Каждая сборка проходит контроль электрических параметров: КСВН и величины потерь. Для измерения электрических параметров компанией разработаны все необходимые внутрисерийные и межсерийные адапторы, на-

грузки и аттенюаторы. Тестирование кабелей и кабельных сборок осуществляется в соответствии со стандартом ISO/ICE 17025.

### Заключение

Компания Radiall оснащена современным специализированным оборудованием для производства кабелей и кабельных сборок (оригинальные намоточные машины, станки прецизионной резки, установки пайки и очистки), а также необходимой измерительной аппаратурой в диапазоне частот до 65 ГГц и совершенным испытательным оборудованием. Благодаря этому Radiall имеет возможность производить кабели и сборки с ультранизкими

потерями и измерительные сборки с высоким уровнем параметров и занимать лидирующее положение в этой области техники. ■

### Литература

1. Джуринский К. Б., Калинин А. В., Гура Р. С. Кабели и кабельные сборки компании Radiall. Часть 1. Стандартные радиочастотные кабели и кабельные сборки // Компоненты и технологии. 2010. № 4.
2. Ultra Low — loss SHF Cable Assemblies. Каталог компании Radiall, D1A296CE. Ноябрь 2007 г.
3. [www.radiall.com](http://www.radiall.com)
4. Test Pro Cable Assemblies. Каталог компании Radiall, D1A295TE. Январь 2009 г.