



Серийные детекторы СВЧ (обзор)

В.П.Бутков¹, Д.Е. Губарев², А.Н.Зикий³, П.Н.Зламан³

¹пенсионер

² Таганрогский научно-исследовательский институт связи, Таганрог

³ Южный Федеральный Университет, Таганрог

Аннотация: Проведен обзор серийных детекторов СВЧ отечественных и зарубежных производителей для диапазона частот 0,1-220ГГц. Рассмотрено более 60 моделей детекторов СВЧ. Приведены краткие сведения об их параметрах. Материал статьи может быть полезен для инженеров при проектировании приемной и измерительной аппаратуры.

Ключевые слова: серийные детекторы СВЧ, основные электрические параметры, присоединительные размеры, чувствительность, динамический диапазон.

Детекторы СВЧ наиболее широко используются в измерительной технике. Кроме того, они находят применение в приемниках предупреждения об облучении, в амплитудных пеленгаторах, в приемниках обнаружения сигналов для радиомониторинга и радиоконтроля, поэтому их изучение является актуальным.

В России производством детекторов СВЧ занимаются АО НПП “Исток”, АО “Микран”, НИИПИ “Кварц”, АО “Салют”, АО “Контакт”, НИИПП и ряд других предприятий. За рубежом еще больше фирм производят детекторы СВЧ. Перечислим только некоторые из них: “Agilent” (Avago), ВНИИРИП (Вильнюс), МНИПИ (Минск), Elisra (Израиль), Skyworks (США), Linwave Technology, Anritsu, Linear Technology, Teledyne Microwave Solution.

В статье не обсуждаются логарифмические детекторы, обзор которых был проведен ранее [1].

Серию детекторных СВЧ модулей миллиметрового диапазона волн производит НИИ полупроводниковых приборов, г.Томск [2]. Информация о них приведена в таблицах 1 и 2. Конструктивно детекторы выполнены в виде



волноводного фланца. Подача тока смещения - через штырьковой вывод или коаксиальный разъём.

Таблица №1

Электрические параметры широкополосных детекторов при $T=25^{\circ}\text{C}$ [2]

Наименование параметра, единица измерения	Обозначение	M53401-1	M53401-2	M53401-3	M53401-4
Рабочий диапазон частот, ГГц	$\Delta f_{\text{раб}}$	26,5...37,5	37,5...52,0	52,0...78,0	78,...118,0
Чувствительность по напряжению, мВ/мВт	β_v	≥ 1500	≥ 1500	≥ 1500	≥ 1500
Коэффициент стоячей волны по напряжению	$K_{\text{ст.Увх}}$	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3

Таблица №2

Электрические параметры узкополосных детекторов [2]

Наименование параметра, единица измерения	Обозначение	Норма	
		M53402-1	M53402-2
Полоса рабочих частот, ГГц	Δf_n	32-36	32-36
Тангенциальная чувствительность, дБ/мВт:	$P_{\text{тг}}$	≤ -50	≤ -51
Коэффициент стоячей волны по входу, отн. ед.	$K_{\text{ст.Увх}}$	$\leq 1,8$	$\leq 1,8$
Напряжение выходного сигнала, мВ: -для M53402-1 при мощности на входе минус 34 дБ/мВт -для M53402-2 при мощности на входе 39 дБ/мВт	U_c	≥ 1	≥ 1
Ток прямого смещения, мкА	$I_{\text{пр}}$	≤ 50	-
Напряжения питания, В	$U_{\text{пит}}$	-	6
Сопротивление нагрузки, к Ом	R_n	1	2

В таблице 2 и далее под тангенциальной чувствительностью в соответствии с ГОСТ25529-82 понимается значение импульсной мощности СВЧ сигнала, при котором на экране осциллографа, включенного на выходе системы «детекторное устройство - видеоусилитель» наблюдается совпадение верхней границы полосы шумов при отсутствии СВЧ сигнала с нижней границей полосы шумов при его наличии.



Низкобарьерные широкополосные детекторы ННИПИ “КВАРЦ” [3]

Применяются в качестве датчиков мощности и для специальных целей. Используются в системе автоматической регулировки мощности в генераторах сигналов и синтезаторах частот, в приемных устройствах для выделения низкочастотной огибающей высокочастотного сигнала, в панорамных и импульсных измерениях.

Эти детекторы имеют высокую чувствительность и работают без смещения. Основные характеристики приведены в таблицах 3-5.

Таблица №3

Технические характеристики коаксиальных детекторов [3]

Параметры	Тип		
	KCD-18	KCD-26	KCD-4
Диапазон частот, ГГц	0,01-18	0,01-26,5	0,01-40
Соединители:			
Вход*	N(m)	SMA(m)	K(m) или 2,4(m)
Выход*	SMA(f)	SMA(f)	SMA(f)
Чувствительность по напряжению, мВ/мВт:			
типичная	300	300	300
минимальная	200	200	200
Неравномерность чувствительности, дБ	±0.5	±0.5	±0.5
Тангенциальная чувствительность на частоте модуляции 1кГц (полоса 40 Гц), дБм**	-55	-55	-55
Полоса видеосигнала (типичная), МГц***	10	10	10
Сопротивление нагрузки (типичное), МОм	1	1	1
Максимальная входная мощность в режиме НГ, дБм	+20	+20	+20

Примечания: * Возможно изготовление детекторов с соединителями типа Ш, IX с метрической резьбой по ГОСТ 13317-89 вместо соединителей типа N, SMA с дюймовой резьбой. Тип выходного разъема может быть определен заказчиком.



Таблица №4

Волноводные детекторы для волноводов типа WR по международной классификации [3]

Параметры	Тип							
	KWD-42	KWD-28	KWD-22	KWD-19	KWD-15	KWD-10	KWD-08	KWD-06
Диапазон частот, ГГц	18-26.5	26,5-40	33-50	40-60	50-75	75-110	90-140	110-170
Входной волновод	WR-42	WR-28	WR-22	WR-19	WR-15	WR-10	WR-8	WR-6
Тип фланца*	UG-595/U	UG-599/U	UG-383/U	UG-383/U	UG-385/U	UG-387/U-M	UG-387/U-M	UG-387/U-M
Чувствительность по напряжению, мВ/мВт:								
типичная	4000	3500	3000	2500	2000	1500	1200	500
минимальная	2500	2000	1500	1200	1000	700	500	300
Неравномерность чувствительности (типовая), дБ	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,5	±2,0	±2,0	±2,5
Тангенциальная чувствительность на частоте модуляции 1кГц (полоса 40Гц), дБм**	-55	-55	-50	-50	-50	-45	-42	-42
Типичная видеополоса, МГц***	10	10	10	10	10	10	10	10
Типичное сопротивление нагрузки, МОм	1	1	1	1	1	1	1	1
Максимальная входная мощность (в режиме НГ), дБм	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20

Примечания: *Выходной соединитель типа SMA(f)

**При сопротивлении 50 Ом.



Таблица №5

Волноводные детекторы для волноводов по ГОСТ 13317-89 [3]

Параметры	Тип					
	KWD-26	KWD-37	KWD-53	KWD-78	KWD-118	KWD-178
Диапазон частот, ГГц	17,44-25,86	25,86-37,5	37,5-53,57	53,57-78,33	78,33-118,1	118,1-178,4
Входной волновод*	11x5,5	7,2x3,4	5,2x2,6	3,6x1,8	2,4x1,2	1,6x0,8
Чувствительность по напряжению, мВ/мВт:						
типичная	4000	3500	3000	2000	1500	500
минимальная	2500	2000	1500	1000	700	300
Неравномерность чувствительности (типовая), дБ	±1,0	±1,0	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5
Тангенциальная чувствительность на частоте модуляции 1кГц (полоса 40Гц), дБ**	-55	-55	-50	-50	-45	-42
Типичная видеополоса, МГц***	10	10	10	10	10	10
Типичное сопротивление нагрузки, МОм	1	1	1	1	1	1
Максимальная входная мощность(в режиме НГ), дБм	+20	+20	+20	+20	+20	+20

Примечания: *Выходной соединитель типа IX(P), может быть определен заказчиком.
**При сопротивлении 50 Ом.

Таблица №6

Детекторы коаксиальные [4]

Условное обозначение	Тип соединителя	Диапазон частот, ГГц	Чувствительность, мкВ/мкВт, min	Перепад чувствительности, дБ	КСВН, max	Масса, г, (±15%)
DM-1	III(B) N(m)	0.5-18.0	300	±2.0	2.5	65
DM-2	IX(B) SMA, APC-3.5(m)	0.5-26.0	250(0.5-20.0 ГГц) 50 (20,0-26,0 ГГц)	±2.5	2.5 (0.5-20.0 ГГц) 3.0(20.0-26.0 ГГц)	38
DM-3	I(B) OS-50, APC-2/4(m)	0.5-40.0	200	-	3.5	30



Таблица №7

Детекторы направленные

Условное обозначение	Тип соединителя	Диапазон частот, ГГц	Чувствительность, мкВ/мкВт, min	Перепад чувствительности, дБ	Направленность, дБ,min	КСВН Основного канала,max	Масса, г, (±15%)
DD	III(P) N(f)	1.0-12.5	2	±1.5	25	1.25	800

Таблица №8

Детекторы волноводные

Условное обозначение	Тип соединителя	Диапазон частот, ГГц	Чувствительность, мкВ/мкВт, min	Перепад чувствительности, дБ	Направленность, дБ,min	КСВН основного канала,max	Масса, г, (±15%)
DD-P	-	18-37.5	100	-	-	-	-
DD-G	-	52-178	30	-	-	-	-

Детекторы предприятия “Салют” (Нижний Новгород) [5]

Таблица №9

Технические характеристики

Параметры	Серия	
	СКВД301	СКВД302
Диапазон частот, ГГц	26-38	26-38
Полоса рабочих частот, ГГц	12	
Чувствительность при полосе видеотракта 10 МГц, мВ/мВт	2500	4000
Напряжение питания, В	0.6-0.7	0.6-0.7
Потребляемый ток, мкА	50-150	50-150
Диапазон рабочих температур,С	0...+85	0...+85
Габаритные размеры, мм	28x22x4	28x22x4
Масса, г	10	10

Корпуса негерметичные;

Вход СВЧ сигнала через внешний волновод 7,2x3,4 мм;

Устойчивы к механическим воздействиям;

В составе герметизированной аппаратуры диапазон рабочих температур от -60 до +85 °С.



Таблица №10

Детекторы МНИПИ (Минск) и ВНИИРИП (Вильнюс) [6,7]

Тип детектора	ТУ	Источник Информации	Диапазон Рабочих Частот, ГГц	Фирма изготовитель	Чувствительность по напряжению мВ/мВт	Неравномерность чувствительности, дБ	Присоединительные размеры по ГОСТ13317
ДВШМ-101		[6]	17-26	МНИПИ	4000	±1,5	Волновод 11x5,5 мм
ДВШМ-102		[6]	26-37,5	МНИПИ	4000	±1,5	Волновод 7,2x3,4 мм
ДВШМ-103	-	[6]	37,5-53,5	МНИПИ	3000	±1,5	Волновод 5,2x2,6 мм
ДВШМ-104	-	[6]	53,5-78	МНИПИ	2000	±2	Волновод 3,6x1,8 мм
ДВШМ-105		[6]	78-118	МНИПИ	1000	±2,5	Волновод 2,4x1,2 мм
ГД-05		[7]	32,5-53,57	ВНИИРИП			Волновод 5,2x2,6 мм
ГД-06		[7]	53,57-78,33	ВНИИРИП			Волновод 3,6x1,8 мм
ГД-07		[7]	118,1-178,4	ВНИИРИП			Волновод 1,6x0,8 мм
ГД-08	ГВ2.245.034	ГВ2.744.020Т0	37-53	ВНИИРИП	170	-	Волновод 5,2x2,6 мм
ГД-09	ГВ2.245.034-01	ГВ2.744.020Т0	53-78	ВНИИРИП	170	-	Волновод 3,6x1,8 мм
ГД-10		[7]	78-118	— —	-	-	Волновод 2,4x1,2 мм
ГД-12		[7]	53-78	— —	-	-	Волновод 3,6x1,8 мм
ГД-13		[7]	118,1-178,4	— —	-	-	Волновод 1,6x0,8 мм
ГД-14		[7]	78,33-118,1	— —	-	-	Волновод 2,4x1,2 мм
ГД-22		[7]	25,95-37,5	— —	-	-	Волновод 7,2x3,4 мм
ГД-23		[7]	140-220	— —	-	-	Волновод 1,3x0,65 мм
ГД-МВМ-20		[7]	0,01-20				Коаксиал
ГД-МВМ-25		[7]	17,44-25,95				Волновод 11x5,5
ГД-МВМ-37		[7]	25,95-37,5				Волновод 7,2x3,4
ГД-МВМ-53		[7]	37,5-53,57				Волновод 5,2x2,6
ГД-МВМ-78		[7]	53,57-78,33				Волновод 3,6x1,8
ГД-МВМ-118		[7]	78,33-118,1				Волновод 2,4x1,2
ГД-МВМ-178		[7]	118,1-178,4				Волновод 1,6x0,8



Таблица №11

Технические параметры детекторов НПФ “Микран” [8,9]

Обозначение	Соединители		Диапазон частот, ГГц	Неравномерность АЧХ, дБ	КСВН, не более	P _{макс} дБм	Полярность				
	Вход	Выход									
Д5А-20-03-03Р	Тип IX	Тип IX	0,01-20	±1,5	1,25	+21	-				
Д5Б-20-03-03Р	вар.3(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002	вар.3(розетка) по ГОСТ РВ 51914-2002					+				
Д5А-20-03-13Р	Тип IX	Тип 3,5мм					-				
Д5Б-20-03-13Р	вар.3(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002	(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002					+				
Д5А-20-13-03Р	Тип 3,5мм	Тип IX					-				
Д5Б-20-13-03Р	(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002	вар.3(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002					+				
Д5А-20-13-13Р	Тип 3,5мм	Тип 3,5мм					-				
Д5А-20-13-13Р	(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002	(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002					+				
Д5А-50-05-03Р	Тип 2,4мм	Тип IX					0,01-50	±1,5 (0,01-26,5ГГц)	12,5 (0,01-26,5ГГц)	+25	-
Д5Б-50-05-03Р	(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002	вар.3(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002									+
Д5А-50-05-13Р	Тип 2,4мм	Тип 3,5мм									-
Д5Б-50-05-13Р	(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002	(вилка) по ГОСТ РВ 51914-2002									+
				±3,5 (26,5-50ГГц)	1,5 (26,5-40ГГц)			-			
					2,5 (40-50ГГц)			+			

Чувствительность по напряжению при мощности входного сигнала менее минус 20дБ составляет 240 мВ/мВт при нагрузке 1 кОм.

Детекторы фирмы Linwave Technology [10]

Детекторы СВЧ в корпусах QFN рассчитаны на рабочие частоты 1-18ГГц, имеют неравномерность характеристики ±1дБ; чувствительность



800 мВ/мВт (входная мощность-20 дБм) и максимальную непрерывную входную мощность 20 дБм.

Детекторы мощности с коаксиальными соединителями рассчитаны на частоты 18-42 ГГц. Динамический диапазон равен -40...+15 дБм; минимальный детектируемый сигнал составляет -40дБм; максимальная неравномерность характеристики ± 3 дБм; предельная мощность 20дБм в непрерывном режиме и 26 дБм в импульсном.

Таблица №12

Основные параметры детекторов на основе диодов с планарным легированием [11]

Тип	Диапазон частот, ГГц	Чувствительность при слабом сигнале, мВ/мкВт	$P_{\text{макс}}$, мВт	$P_{\text{и}}$, Вт
8471D	0,0001-2	>0,5	100	0,7
8471E	0,01-12	>0,4	200	
8473D	0,01-33			
8474B	0,01-18			
8474C	0,01-33			
8474E	0,01-50			

Таблица №13

Основные параметры детекторов на основе диодов Шоттки [11]

Тип	Диапазон частот, ГГц	Чувствительность при слабом сигнале, мВ/мкВт	$P_{\text{макс}}$, мВт	$P_{\text{и}}$, Вт
423B	0,01-12.4	>0,5	100	0,7
8470B	0,01-18		200	
8472B	0,01-38			
8473B	0,01-18			
8473C	0,01-26.5			
		>0,18 до 26,5 ГГц		



Заключение

Проведён обзор серийных детекторов СВЧ. Выявлены следующие тенденции их развития:

- расширение диапазона рабочих частот микрополосковой конструкции до 50 ГГц;
- расширение диапазона частот волноводной конструкции до 220 ГГц;
- расширение динамического диапазона за счет использования нескольких диодов;
- улучшение согласования детекторов по входу;
- температурная компенсация в широком диапазоне температур;
- миниатюризация массы и габаритов вплоть до изготовления монолитных интегральных схем [12].

Некоторые фирмы изготавливают детектирующие устройства с двумя функциями:

- антенны-детекторы;
- детекторы проходящей мощности на основе направленного ответвителя;
- детекторы-модуляторы;
- ограничители-детекторы;
- детекторы - видеоусилители;
- аттенюаторы-детекторы.

Результаты работы могут найти применение при проектировании приемников СВЧ [13-15].

Литература

1. Беляев Д.В., Бурлаченко А.А., Зикий А.Н., Румянцев К.Е. Логарифмические детекторы (обзор). В электронном журнале “Информационное противодействие угрозам терроризма”, 2008, №12, часть 2, с. 241-249.



2. Реклама НИИ полупроводниковых приборов, Томск. URL: niipp.ru/catalog/detail/php?ID=251.
 3. Коаксиальные, волноводные и оптические устройства. Каталог ННИПИ “Кварц”, Нижний Новгород, 2002. -81с.
 4. Каталог продукции АО ЦНИИА, г. Саратов. URL: cime.ru/catalogue/ais/means/microwave/coaxial-lin.
 5. Техника СВЧ. Каталог НПП “Салют”, Нижний Новгород, 1997. -152с.
 6. Высокочувствительные детекторы миллиметрового диапазона серии 100. Реклама МНИПИ, Минск, 1990. 1-2с.
 7. Головки детекторные. Каталог ООО “Приборэлектро”, 2017. -1с. URL: priborelectro.ru/product/price/73.
 8. Контрольно-измерительная аппаратура и элементы СВЧ тракта. Каталог ЗАО НПФ “Микран”, 2014. -100с.
 9. Andrey S. Zagorodny, Aleksey V. Drozdov, Nikolay N. Voronin, Igor V. Yunusov “Modeling and Application of Microwave Detector Diodes” IEEE 14 International conference and seminar of young specialists on micro.nanotechnologies and electron devices (EDM), 2013: proc., Altai, Erlagol, 2013. Novosibirsk : NSTU, 2013. pp. 96–99.
 10. Егоров Н. ВЧ/СВЧ-изделия компании Linwave Technology. Компоненты и технологии, 2014, N 2, с. 126-130.
 11. Дьяконов В.П. СВЧ-аксессуары фирмы Agilent Technologies. Компоненты и технологии, 2011, №9, с. 164-170.
 12. Загородний А.С. Измерители мощности сигналов СВЧ и КВЧ диапазонов на основе диодных детекторов. Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. Томск, ТУСУР, 2014. -120 с.
 13. Receiving Products: Amplitude and frequency measurement. Elisra Microelectronics. 77 p.
-



14. Пустовалов А.И. Двухканальное приемное устройство СВЧ диапазона // Инженерный вестник Дона, 2010, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195.

15. Шурховецкий А.Н. Многоканальная частотно-избирательная система СВЧ диапазона на основе направленных фильтров бегущей волны // Инженерный вестник Дона, 2010, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292.

Reference

1. Belyaev D.V., Burlachenko A.A., Zikiy A.N., Rummyantsev K.E. Elektronny zhurnal "Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma", 2008, №12, chast' 2, p.241.249.

2. Reklama NII poluprovodnikovyyh priborov [Advertising, research Institute of semiconductor devices], Tomsk.

3. Katalog NNIPI "Kvarts" [Catalog NNIPI "Quartz"], Nizhniy Novgorod, 2002. 81p.

4. Katalog produktsiy AO TSNIA, Saratov. URL: cime.ru.catalogue.ais.means.microwave.coaxial.line.

5. Katalog NPP "Salut" [Catalogue of NPP "salute"], Nizhniy Novgorod, 1997. 152 p.

6. Reklama MNIPI [Advertising MNIPI], Minsk, 1990. p. 1.2.

7. Katalog OOO "Priborelektro", 2017. 1p. URL: priborelectro.ru.product.price.73

8. Katalog ZAONPF "Mikran" [Catalog SANPF "Micran"], 2014. 100p.

9. Andrey S. Zagorodny, Aleksey V. Drozdov, Nikolay N. Voronin, Igor V. Yunusov "Modeling and Application of Microwave Detector Diodes" IEEE 14 International conference and seminar of young specialists on micro.nanotechnologies and electron devices (EDM), 2013: proc., Altai, Erlagol, 2013. Novosibirsk : NSTU, 2013. pp. 96–99.



10. Egorov N. Komponenty i tehnologii, 2014, №2, p. 126.130.
11. D'yakonov V.P. Komponenty i tehnologii, 2011, №9, p. 164.170.
12. Zagorodniy A.S. Izmeritely moschnosty signalov SVCH i KVCH diapazonov na osnove diodnyh detektorov. Dissertatsiya na soiskanie uchionoy stepeni k.t.n [Measuring the signal power of the microwave and EHF ranges based on diode detectors. The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences.]. Tomsk, TUSUR, 2014. 120 p.
13. Receiving Products: Amplitude and frequency measurement. Elisra Microelectronics. 77 p.
14. Pustovalov A.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195.
15. Shurhovetskiy A.N. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2010, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2010/292.