

ОСЦИЛЛОГРАФЫ Rohde&Schwarz – АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ

Н.Лемешко, к.т.н. nlem83@mail.ru

Сегодня все острее встает проблема электромагнитной совместимости (ЭМС). Поэтому уже на стадии проектирования электронного оборудования необходимо проводить исследования ЭМС и выявлять элементы печатных узлов, вносящие наибольший вклад в помехоэмиссию. О том, как сделать это с помощью цифровых осциллографов, рассказывается в статье.

ПРОБЛЕМА ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ПОМЕХОЭМИССИИ

Практика проектирования и сертификации радиоэлектронных средств показала, что важнейшую роль в формировании излучаемых радиопомех играет не только топология печатных узлов, но и их компонентная база. И если правильное расположение и структура линий передачи способны сильно ослабить генерацию радиопомех, то электронные компоненты с позиции разработчика остаются "черным ящиком" с малопредсказуемыми свойствами.

Как правило, проектные лаборатории не имеют собственных технических средств для оценки помехоэмиссии, а заказывать исследования на стороне слишком дорого. Кроме того, такие исследования, выполняемые для отдельных компонентов, в большинстве случаев неэффективны, так как помехоэмиссия зависит от режима работы конечного устройства. Фирмы – производители электронных компонентов обычно не предоставляют никакой информации по данному вопросу.

Расчетный метод [1] позволяет оценить интенсивность только тех радиопомех, которые формируются проводниками печатного узла, поскольку

конструкция интегральных компонентов, как правило, неизвестна.

Поэтому для обеспечения ЭМС целесообразно изготовить тестовый образец будущего электронного устройства и на нем исследовать помехоэмиссию. Это позволит наиболее тщательно подготовиться к последующему проведению сертификационных испытаний. В ходе таких предварительных исследований важно локализовать на печатном узле элементы, отличающиеся наибольшей помехоэмиссией, поскольку их вклад в формируемый электромагнитный фон будет определяющим.

Для экспериментальных исследований в области ЭМС обычно используют анализаторы спектра или измерительные приемники [2], комплектуемые датчиками ближнего поля либо измерительными антеннами. Они обеспечивают высокую точность измерений, но сложны в работе и дороги. Из-за этого разработчики часто вообще отказываются от таких исследований опытных образцов. По-видимому, есть потребность в оборудовании, которое могло бы обеспечить исследование ЭМС и при этом имело бы приемлемую цену. Таким оборудованием могут быть цифровые осциллографы, отвечающие определенным требованиям.

ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ДЛЯ АНАЛИЗА ПОМЕХ

Датчики ближнего поля, применяемые при решении задач ЭМС, обычно являются широкополосными преобразователями с характеристиками, несколько худшими, чем у измерительных антенн, так как с их помощью выполняются только оценочные измерения. Спектрограммы излучений, зафиксированных с использованием датчиков ближнего поля для разных участков спектра, не могут быть соотнесены непосредственно, поскольку, как правило, такие датчики не калибруются. Так что никаких существенных требований к датчикам ближнего поля не предъявляется – достаточно обеспечить необходимую полосу рабочих частот, обычно от 30 до 3000 МГц, в которой выполняется анализ излучений электронных компонентов [3]. В частности, в такой полосе работают датчики ближнего поля из комплекта HZ-15 компании Rohde&Schwarz (R&S) [4]. В отдельных случаях для повышения чувствительности датчиков ближнего поля используют маломощные усилители с коэффициентом усиления порядка 20–30 дБ.

Для реализации функции анализатора спектра необходимо обеспечить достаточно широкую рабочую полосу и высокую чувствительность осциллографа. Современные цифровые осциллографы обладают весьма широкой рабочей полосой, иногда достигающей 10 ГГц и более. Проблема повышения чувствительности радиочастотной части решается снижением собственных шумов усиления и уменьшением шага развертки по вертикали. Анализ спектра в осциллографах можно реализовать с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ).

У осциллографов серии RTO R&S радиочастотная часть соответствует вышеуказанным требованиям. В частности, верхняя граница полосы пропускания составляет от 600 до 4000 МГц.



Рис.1. Модуль R&S RT-ZB1

В приборах RTO реализовано БПФ покадровое с перекрытием. Такой подход позволяет, с одной стороны, улучшить поиск нестационарных или случайных частотных составляющих сигналов, а с другой – дает возможность проводить их непрерывный частотный анализ (по аналогии с анализаторами спектра). Коэффициент перекрытия, который может задаваться произвольно, определяет количество используемых в обработке данных.

Анализ сигналов в частотной области предполагает использование оконных функций, которые сглаживают спектральные кривые, повышают разрешение БПФ и уменьшают погрешности, связанные с просачиванием комбинационных спектральных составляющих [5]. Тип оконной функции значительно влияет на вид отображаемого

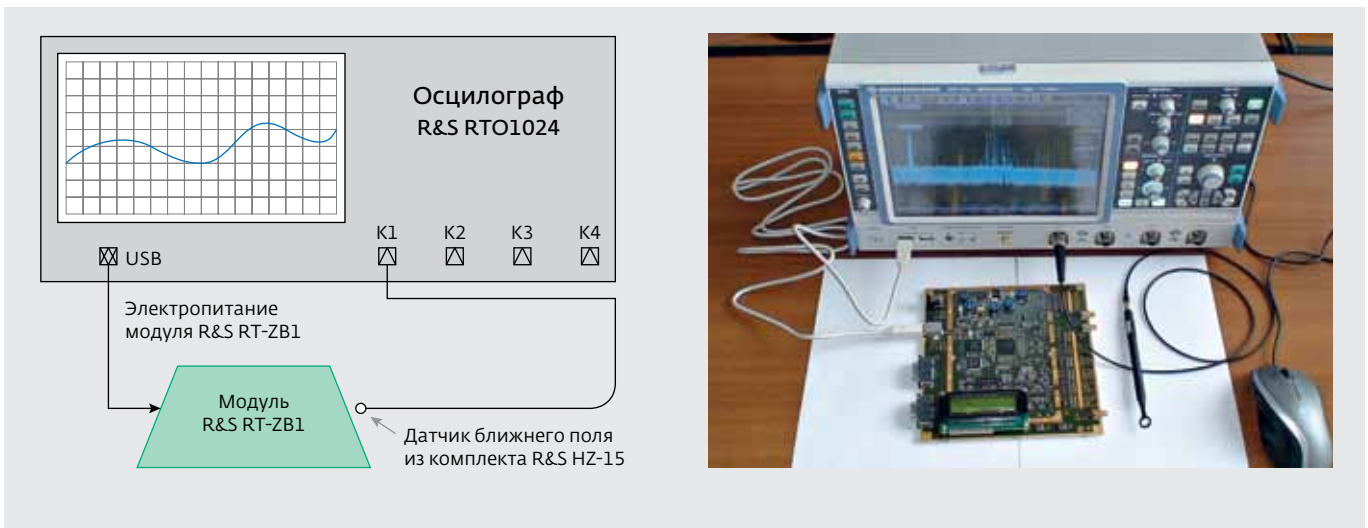


Рис.2. Измерительная установка: а – схема; б – фотография

спектра и на достижимые в выбранном режиме показатели БПФ. В осциллографах серии RTO есть возможность выбора практически всех наиболее распространенных типов оконных функций. В остальном настройки БПФ соответствуют традиционным для анализаторов спектра. Таким образом, осциллографы серии RTO вполне пригодны для анализа ЭМС.

ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФОВ RTO

Локализацию источников помехоэмиссии на печатных узлах рассмотрим на примере модуля R&S RT-ZB1, предназначенного для измерения скорости импульсных сигналов в комплекте с другим оборудованием. Модуль выполнен в виде печатного узла (рис.1).

Для оценки помехоэмиссии использовался осциллограф R&S RTO1024 с полосой пропускания 1 ГГц и комплект датчиков ближнего поля R&S HZ-15: датчик магнитной составляющей H50-1 и датчик электрической составляющей E02 с рабочей полосой до 3 и до 1,5 ГГц и калибровочными коэффициентами порядка 25 и 27 дБ соответственно (рис.2). Определение компонентов с наибольшей помехоэмиссией выполнялось в процессе перемещения датчиков вдоль поверхности платы с варьированием их ориентации для исключения пространственной избирательности.

Поскольку рассматриваемым практическим приложением функции БПФ осциллографа является поиск источников повышенной помехоэмиссии на печатном узле и характерных частот таких излучений, целесообразно воспользоваться

прямоугольным окном преобразования, обладающим наилучшим разрешением по частоте. Амплитудные характеристики радиопомех могут определяться менее точно без ущерба для общего решения задачи.

Первый этап при проведении исследований радиопомех – определение шумов, вносимых самим БПФ (от них зависит чувствительность регистрирующего устройства). Шумы измеряются в режиме заглушенного входа при максимальной чувствительности, минимальной полосе разрешения и максимальной полосе обзора, а также при входном сопротивлении, равном 50 Ом. Как видно из спектра, полученного осциллографом в таком режиме (рис.3), уровень шумов составляет

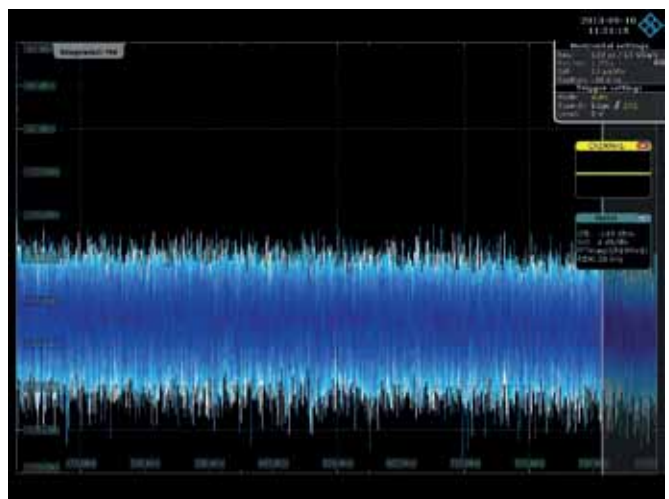


Рис.3. Спектр шумов, вносимых БПФ

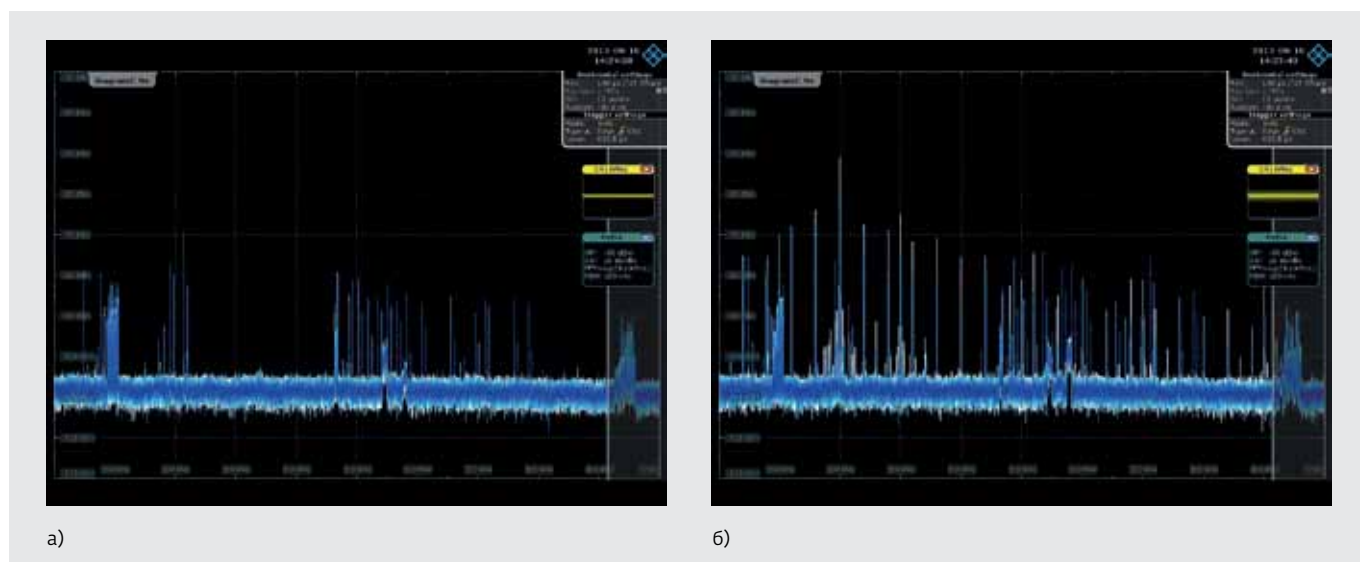
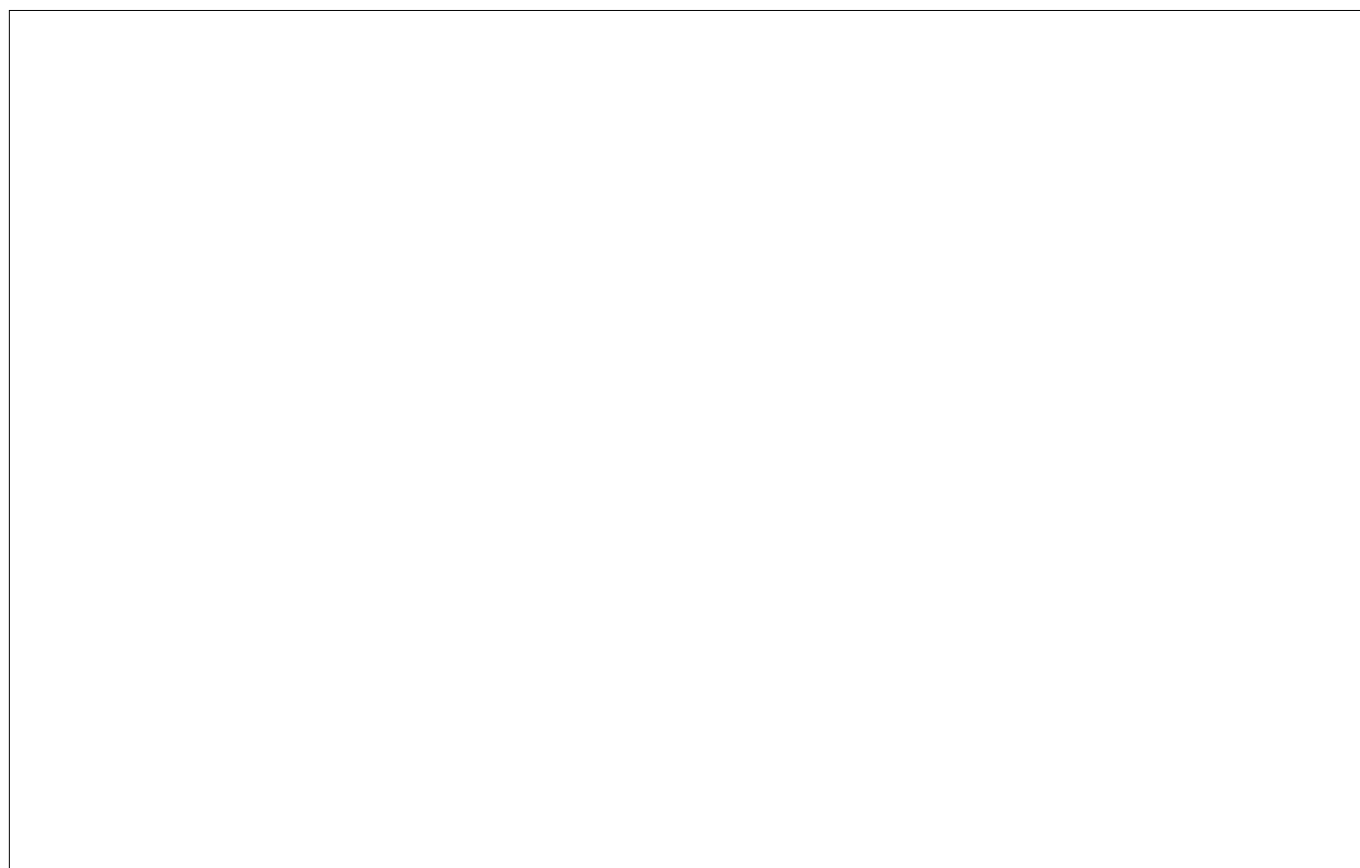


Рис.4. Оценочные спектрограммы ближнего поля, полученные с помощью датчика магнитной составляющей: а – в свободном пространстве (эфирные наводки); б – вблизи интегрального компонента XILINX Spartan XC3S1600E

порядка -105 дБм в полосе частот до 1 ГГц (полоса разрешения составляла 20 кГц). Это несколько выше, чем у анализаторов спектра, но вполне приемлемо для решения задач, связанных с электромагнитной совместимостью.

Проведенные исследования показали, что наибольшей интенсивностью излучения в ближней зоне характеризуется область вблизи интегрального компонента XILINX Spartan XC3S1600E, установленного в центре печатного узла (см. рис.1).



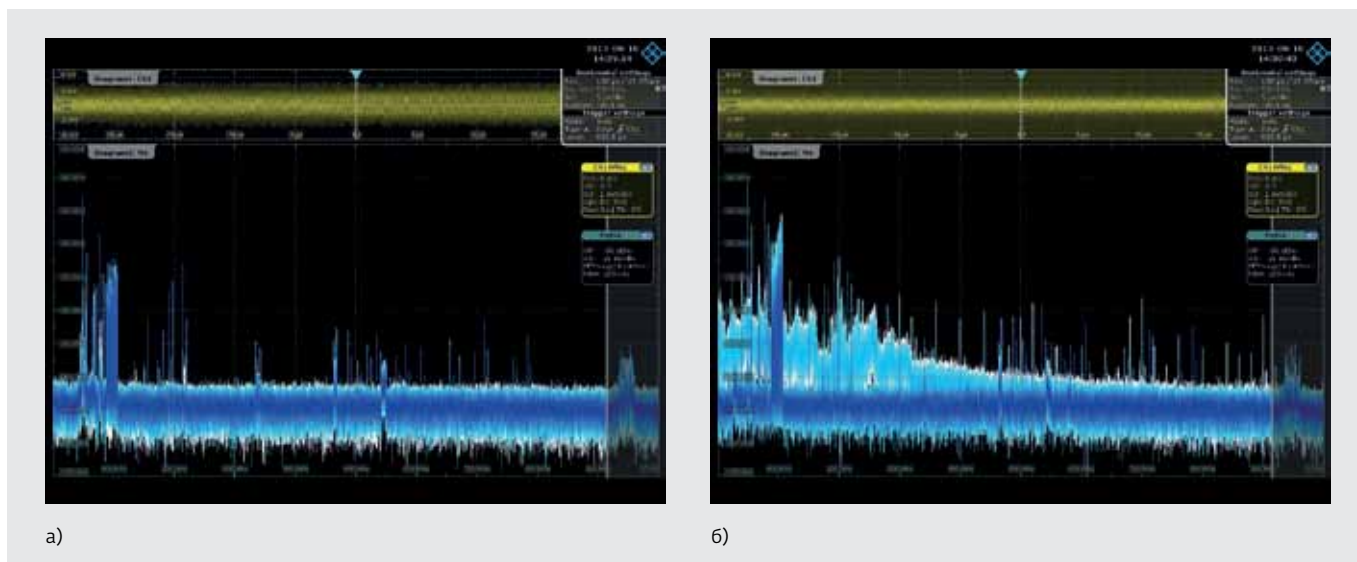


Рис.5. Оценочные спектрограммы ближнего поля, полученные с помощью датчика электрической составляющей: а – в свободном пространстве (эфирные наводки); б – вблизи интегрального компонента XILINX Spartan XC3S1600E

Измерения выполнялись с полосой разрешения 100 кГц в режиме вычисления среднеквадратичного значения для каждой точки спектра.

Из полученных спектрограмм (рис.4, 5) следует, что вблизи исследуемого интегрального компонента ближнее поле имеет сложную структуру и характеризуется широкой полосой частот. На спектрограмме, соответствующей датчику магнитного поля (см. рис.4), наиболее явно видны гармоники, порождаемые импульсными процессами. Они определяют характерные частоты, на которых могут быть зафиксированы превышения норм помехоэмиссии.

Практика решения вопросов ЭМС при проектировании радиоэлектронных средств показала, что гармонические составляющие электромагнитного поля оказываются наиболее опасными в плане наводок из-за своей энергетической насыщенности. Например, они могут приводить к недопустимому ухудшению параметров каналов эфирной связи за счет снижения отношения сигнал/шум. С увеличением расстояния такие составляющие существенно ослабевают, равно как и при использовании экранирующих элементов, но, например, при компактном размещении ряда печатных узлов в блоке их необходимо учитывать.

Спектрограмма, полученная при помощи второго датчика (см. рис.5), позволяет сделать вывод, что электрическая составляющая ближнего поля характеризуется сплошным спектром на частотах до 600 МГц и не является стационарной (на рис.5б

более светлая область соответствует эффекту послесвечения длительностью 0,3 с). Таким образом, структура и характеристики ближнего поля изменяются во времени.

Итак, проблема локализации источников эмиссии электромагнитных излучений в наиболее употребительном частотном диапазоне может быть решена с помощью широкополосных цифровых осциллографов, оснащенных функцией БПФ и обладающих широкими возможностями для вариации параметров.

В будущем можно ожидать дальнейшего совершенствования как радиотрактов осциллографов, так и их математического обеспечения. Это позволит еще более успешно использовать осциллографы при решении проблем электромагнитной совместимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лемешко Н.В.** Теоретические основы моделирования сертификационных испытаний радиоэлектронных средств по эмиссии излучаемых радиопомех. – М.: МИЭМ, 2012.
2. **Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А.** Радиомониторинг: задачи, методы, средства. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006.
3. **Уильямс Т.** ЭМС для разработчиков продукции. – Пер. с англ. Кармашева В.С., Кечиева Л.Н. – М.: Технологии, 2003.
4. www.rohde-schwarz.ru.
5. **Дженкинс Г., Ватс Д.** Спектральный анализ и его приложения. Выпуск 2. – М.: мир, 1972.

Диоды Шоттки производства ОАО «ИНТЕГРАЛ»


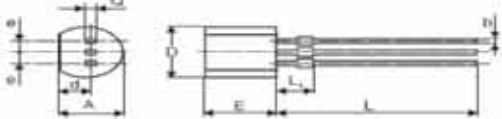

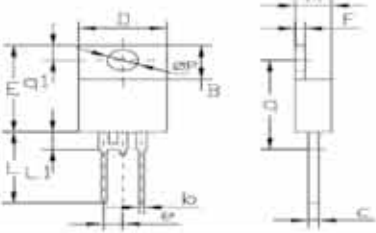

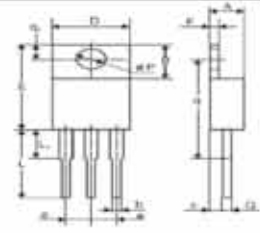
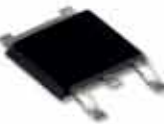
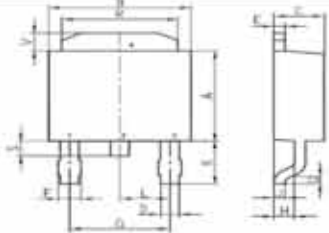

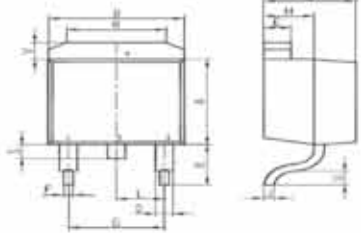

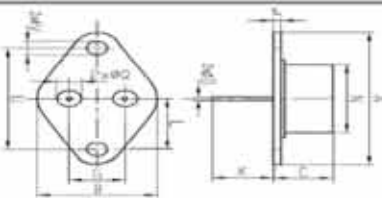

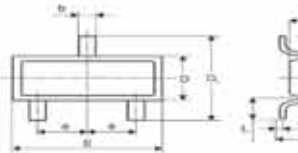
Диоды Шоттки с приемкой «ОТК»

Обозначение	Прототип	Iпр. макс А	Iимп. макс А	Uобр. макс В	Uпр. В		Iобр мА	Тип корпуса Диапазон раб. темпер.
					Uпр. В	Iпр. А		
КДШ2101А-5 КДШ2101Б-5 КДШ2101В-5	SB140 SB160 SB1100	1,0	40	40 60 100	0,57 0,66 0,97	1,0	0,5	б/к
КДШ2102А-5 КДШ2102Б-5 КДШ2102В-5	SB240 SB260 SB2100	2,0	50	40 60 100	0,52 0,66 0,77	2,0	0,5	б/к
КДШ2103А-5 КДШ2103Б-5 КДШ2103В-5	SB340 SB360 SB3100	3,0	150	40 60 100	0,55 0,58 0,85	3,0	0,5 0,5 0,6	б/к
КДШ2104А-5 КДШ2104Б-5 КДШ2104В-5	SB540 SB560 SB5100	5,0	250	40 60 100	0,55 0,67 0,8	5,0	0,5 0,5 0,6	б/к
КДШ2105В	1N5819	1,0	10	40	0,60/0,80	1,0/2,0	1,0	КТ-26 -45+100°C
КДШ2114АС9 КДШ2114БС9 КДШ2114ВС9	6CWQ06F 6CWQ04F 6CWQ10F	2x3,0	42	60 40 100	0,58/0,79 0,55/0,71 0,85/1,05	3,0/6,0	3,0	КТ-89 -45+125°C
КДШ2122А-5	SB0545	0,5	5,0	45	0,6	0,5	0,6	б/к
КДШ2140А-5 КДШ2140Б-5 КДШ2140В-5	SB340 SB360 SB3100	3,0		100 60 40	0,85 0,7 0,6	3,0	0,2 0,25 0,3	б/к
КДШ2932АС КДШ2932АС9 КДШ2932А-5		2x15,0	150	45	0,62	15	0,2	КТ-28-2 КТ-90 б/к -60+125°C
КДШ2934А* КДШ2934А9* КДШ2934А-5*		40	450	100	0,88	40	0,02	КТ-28-1 КТ-90 б/к -60+125°C
КДШ2945АС КДШ2945БС КДШ2945ВС	30СТQ100 30СТQ90 30СТQ80	15		100 90 80	0,86/1,05	15/30	0,25	КТ-28-2 -60+125°C
КДШ2945АС91 КДШ2945БС91 КДШ2945ВС91	30СТQ100 30СТQ90 30СТQ80	15		100 90 80	0,86/1,05	15/30	0,25	КТ-90 -60+125°C
КДШ2952А-5		80		100	0,6	1,0	2,0	б/к -45+125°C
КДШ2161АС* КДШ2161БС*		2x4,0	100 110	150 100	0,84 0,83	4,0	0,005	КТ-28-2 -60+125°C
КДШ2161АС9* КДШ2161БС9*		2x4,0	100 110	150 100	0,84 0,83	4,0	0,005	КТ-90 -60+125°C
КДШ2161А-5* КДШ2161Б-5*		2x4,0			0,84 0,83	4,0	0,005	б/к
КДШ2162АС* КДШ2162БС*		2x8,0	135 150	150 100	0,84 0,83	8,0	0,005	КТ-28-2 -60+125°C
КДШ2162АС9* КДШ2162БС9*		2x8,0	135 150	150 100	0,84 0,83	8,0	0,005	КТ-90 -60+125°C
КДШ2162А-5* КДШ2162Б-5*		2x8,0	135 150	150 100	0,84 0,83	8,0	0,005	б/к
КДШ2963АС	PBYL1025	2x10	200	30	0,49/0,58	10/20	1,5	КТ-28-2 -45+125°C
КДШ2964А КДШ2964Б	12ТQ060 12ТQ045	15	220 250	60 45	0,62/0,82 0,56/0,71	15/30	0,8 1,75	КТ-28-1 -45+125°C
КДШ2965А КДШ2965Б	20ТQ060 20ТQ045	20	350 400	60 45	0,64/0,84 0,57/0,73	20/40	1,8 2,7	КТ-28-1 -45+125°C
КДШ2966А	SC200S45	50	1150	45	0,65	50	5,0	КТ-28-1 45+125°C
КДШ2968АС КДШ2968БС КДШ2968ВС	25СТQ45 30СТQ060	2x15	250	45 60 100	0,56/0,71 0,62/0,82 0,8/1,05	15/30	1,5	КТ-28-2 -45+125°C
КД2970А КД2970Б КД2970В	МBR10100 МBR1060 МBR1045	10	150	100 60 45	0,85/1,05 0,68/0,86 0,63/0,75	10/20	0,8	КТ-28-1 -45+125°C
КДШ297АС КДШ297БС КДШ297ВС	МBR1545 МBR1560 МBR15100	2x7,5	150	45 60 100	0,55/0,70 0,67/0,85 0,80/1,0	7,5/15	0,8	КТ-28-2 -45+125°C
КДШ297АС91 КДШ297БС91 КДШ297ВС91	МBRB1545 МBRB1560 МBRB15100	2x7,5	150	45 60 100	0,55/0,70 0,67/0,85 0,80/1,0	7,5/15	0,8	КТ-90 -45+125°C
КДШ298АС КДШ298БС КДШ298ВС	15СТQ45	2x5,0	120	45 60 100	0,55/0,71 0,67/0,85 0,80/1,05	5,0/10	0,8 1,0 1,0	КТ-28-2 -45+125°C
КД643АС КД643БС КД643ВС	МBR2045 МBR2060 МBR20100	2x10	150	45 60 100	0,63/0,75 0,68/0,86 0,85/1,05	10/20	0,8	КТ-28-2 -45+125°C
КД643АС91 КД643БС91 КД643ВС91	МBRB2045 МBRB2060 МBRB20100	2x10	150	45 60 100	0,63/0,75 0,68/0,86 0,85/1,05	10/20	0,8	КТ-90 -45+125°C

Диоды Шоттки с приемкой «ВП»

Обозначение	Максим. прямой средний ток Iпр. макс., А	Максим. импульсный ток Iимп. макс., А	Максим. обратное напряжение Uобр. макс., В	Постоянное прямое напряжение диода		Постоянный обратный ток диода Iобр., мА	Тип корпуса Диапазон раб. темпер.
				Uпр., В	Iпр., А		
2ДШ2121АС/ИМ	2x5,0	50	100	0,8	5,0	0,2	КТ-9 -60+125°C
2ДШ2121А-5/ИМ							б/к -60+125°C
2ДШ142А9**	50	70	18	0,4	1,0	1,0	КТ-46А -60+125°C
2ДШ142АС9**	2x50						

Типы корпусов для диодов Шоттки

Тип корпуса	Чертеж	Обозначение на чертеже	Размеры, мм	
			min	max
КТ-26 (ТО-92) 		E	4,6	5,1
		b	4,6	0,5
		D	4,6	5,0
		d	1,61	1,65
		A	3,5	3,8
		e	1,257	1,2827
		L	12,5	14,5
		L1		2,0
		Q		0,5
		A	4,2	4,8
		B	5,9	6,8
		b	0,6	0,8
		c	2,3	2,6
		D	10,3	10,7
КТ-28-1 (ТО-220АС) 		E	15,2	15,9
		Q1	2,2	2,6
		F	1,1	1,2
		L	12,5	14,5
		L1	3,06	3,54
		P	3,6	3,72
		Q	0,55	0,75
		q	15,785	16,215
		q1	2,6	3,0
		A	4,2	4,8
		B	5,9	6,8
		b	0,6	0,8
		c	2,3	2,6
		D	10,3	10,7
КТ-28-2 (ТО-220АВ) 		E	15,2	15,9
		Q	2,2	2,6
		F	1,1	1,2
		L	12,5	14,5
		L1	3,06	3,54
		P	3,6	3,72
		Q	0,55	0,75
		q	15,785	16,215
		q1	2,6	3,0
		A	5,99	6,22
		B	6,37	6,73
		C	2,23	2,37
		D	0,71	0,85
		E	0,46	0,61
КТ-89 (DРАС) 		G		4,58
		H	0,9	1,0
		J	0,46	0,61
		K	2,65	2,9
		L	2,24	2,34
		R	5,21	5,39
		S	0,7	1,0
		U	0,51	-
		V	1,15	1,25
		A	8,49	8,71
		B	9,92	10,28
		C	4,25	4,55
		D	1,15	1,4
		E	1,1	1,3
F	0,71	0,85		
КТ-90 (D2РАС) 		G		5,08
		H	2,3	2,5
		J	0,46	0,6
		K	4,76	5,24
		L		2,54
		R	6,89	7,11
		S	1,45	1,55
		U	2,3	2,7
		V	-	1,4
		A	-	38,15
		B	-	26,5
		C	-	10,2
		D	0,98	1,05
		E	1,52	1,6
G	10,8	11,2		
КТ-9 (ТО-3) 		K	11	13
		L	16,7	17,1
		N	19,75	20,05
		U	29,9	30,1
		V	4,1	4,22
		Q	5,0	5,08
		A	0,75	0,95
		A1	0,84	1,1
		b	0,38	0,46
		C	0,5	0,65
		D	1,2	1,4
		D1	2,1	2,5
		E	2,8	3,0
		e	0,85	1,05
L	0,4	0,6		
Q	0,09	0,15		
КТ-46А (SOT-23) 		A	0,75	0,95
		A1	0,84	1,1
		b	0,38	0,46
		C	0,5	0,65
		D	1,2	1,4
		D1	2,1	2,5
		E	2,8	3,0
		e	0,85	1,05
		L	0,4	0,6
		Q	0,09	0,15