

инструкция по применению

ВЕКТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ ЦЕПЕЙ Р4213 /

Р4226 «ПАНОРАМА»

ОПЦИЯ «ДПА» ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНО-ПРЕОБРАЗУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Опция «ДПА». Прямой доступ к приемникам и генератору.

Опция «ДПА» векторного анализатора цепей (ВАЦ) «Панорама» предоставляет пользователю прямой доступ к СВЧ-входам приемников и СВЧ-выходам генератора. Схема реализации ВАЦ «Панорама» с опцией «ДПА» представлена на рис 1.



Рис. 1. Схема реализации измерительного блока ВАЦ «Панорама» с опцией «ДПА»

Типы измерений, для которых необходима опция «ДПА»:

- Измерения устройств, требующих высокий уровень входной мощности, который не может обеспечить ВАЦ (выше +10 дБм)
- Измерения устройств с высоким уровнем выходной мощности (выше +10 дБм)
- Измерение устройств с преобразованием частоты
- Измерения с использованием трансформаторов импеданса
- Измерения на зондовых станциях

ПРИМЕЧАНИЕ

При измерениях необходимо знать и учитывать предельно допустимые входные и выходные мощности для каждого порта ВАЦ. Превышение максимального входного уровня мощности портов приведет к выходу из строя ВАЦ. Превышение максимального входного уровня мощности линейного режима работы приёмников приведет к некорректным измерениям. Предельные уровни представлены в таблице 1.

	Максимальный входной уровень линейного режима работы приёмников, дБм	Максимальный входной уровень, дБм	Максимальный выходной уровень, дБм	
Порт 1	10	27	10	
Порт 2	10	27	10	
Изм. вход	-6	12	-	
Изм. выход	-	-	-	
Генератор вход	-	27*	-	
Генератор выход	-	-	10	
Опорн. вход	-6	12	-	
Опорн. выход	-	-	-6	

Таблица 1. Предельные уровни входных и выходных сигналов для портов Р4226/Р4213

* При отсутствии перемычки на передней панели на портах «ИЗМ» максимально допустимый уровень входного сигнала для порта «Генератор вход» составляет 33 дБм (2 Вт).

Ограничение проведения корректных измерений

без опции «ДПА»

Для измерения матрицы S-параметров необходимо обеспечить плоскость калибровки на портах исследуемого устройства. Однако при добавлении в измерительную схему устройств, значительно ослабляющие сигнал, отраженный от входного порта исследуемого устройства (ИУ), обеспечить плоскость калибровки затруднительно (см. пример на рис. 2). Измерение S11 в данном случае невозможно, из-за наличия усилителя с большой развязкой в схеме.



Варианты построения измерительных схем с опцией «ДПА»

Опция «ДПА» позволяет обойти ограничения и провести корректные измерения полной матрицы S-параметров. Схема реализации измерительного блока ВАЦ «Панорама» представлена на рис 3.



Рис. 3. Схема реализации измерительного блока ВАЦ «Панорама»

Для измерения коэффициента отражения ИУ, для которых необходим уровень входной мощности выше 10 дБм, необходимо использовать схему измерения, приведенную на рис. 4. Зондирующий сигнал ВАЦ проходит через усилитель (1), внутренний направленный ответвитель и попадает на вход ИУ (3), затем на второй измерительный приемник. Если уровень выходного сигнала ИУ превышает входной уровень линейного режима работы приёмника ВАЦ (10 дБм), то необходимо установить аттенюатор (4), а если превышает предельно допустимый уровень входного сигнала порта ВАЦ (27 дБм), то необходимо установить аттенюатор (5). Отраженный сигнал от ИУ проходит через внутренний направленный ответвитель, аттенюатор (2) и попадает на первый измерительный приемник. Аттенюатор (2) перед первым измерительным приемником устанавливается, если уровень сигнала, отраженного от ИУ выше 10 дБм.

ПРИМЕЧАНИЕ

При подключении нагрузок короткого замыкания (КЗ) и холостого хода (XX) во время калибровки сигнал после усилителя попадет в измерительный приёмник и может превысить уровень линейного режима работы приёмника или даже вывести из строя приёмник.



Рис. 4. Схема измерения с опцией «ДПА» (указаны предельно допустимые уровни входных сигналов для каждого порта)

Измерительная схема, изображенная на рис. 5, используется, если необходимо учитывать нестабильность параметров усилителя (коэффициент передачи, выходная мощность). В данной схеме используется внутренний направленный ответвитель, поэтому важно, чтобы уровень сигнала после усиления не превышал 27 дБм. В данном случае сигнал с генератора попадает на усилитель (1), затем в направленный ответвитель (HO) (6). Ответвленный с помощью НО сигнал попадет на опорный приемник. Уровень входного сигнала для опорного приемника не должен превышать -6 дБм, при превышении этого уровня необходимо использовать аттенюатор (7). Дальнейший путь сигнала совпадает со схемой (см. рис. 4).



Рис. 5. Схема измерения с опцией «ДПА» с использованием дополнительного направленного ответвителя (указаны предельно допустимые уровни входных сигналов для каждого порта):

1 – усилитель; 2 – аттенюатор на входе первого измерительного приемника; 3 – измеряемое устройство; 4 – аттенюатор на входе второго измерительного приемника; 5 – аттенюатор на входе ВАЦ; 6 – направленный ответвитель; 7 – аттенюатор на входе первого опорного приемника В случае, когда необходимо усиливать зондирующие сигналы, попадающие как на вход исследуемого устройства, так и на выход, должна быть использована схема, приведенная на рис. 6. Напомним, что измерительные и опорные приёмники должны оставаться в линейных режимах работы, то есть уровень входного сигнала не должен превышать -6 дБм и при необходимости устанавливаем аттенюаторы перед их входами. Аттенюаторы (7, 10) должны быть эквивалентны коэффициенту усиления (КУ) усилителей (1, 9), а аттенюаторы (2, 4, 5) необходимо подбирать, исходя из уровней выходных сигналов ИУ, уровней сигналов при калибровке, уровней отраженных сигналов.



Рис. 6. Схема измерения с опцией «ДПА» при необходимости усиления зондирующих сигналов (указаны предельно допустимые уровни входных сигналов для каждого порта):

1 – усилитель для первого канала; 2 – аттенюатор на входе первого измерительного приемника; 3 – измеряемое устройство; 4 – аттенюатор на входе второго измерительного приемника; 5 – аттенюатор на входе ВАЦ; 6 – направленный ответвитель для первого канала; 7 – аттенюатор на входе первого опорного приемника; 8 – направленный ответвитель для второго канала; 9 – усилитель для второго канала; 10 – аттенюатор на входе второго опорного приемника; 8 – направленный ответвитель для второго канала; 9 – усилитель для второго канала; 10 – аттенюатор на входе второго опорного приемника; 8 – направленный ответвитель для второго канала; 9 – усилитель для второго канала; 10 – аттенюатор на входе второго опорного приемника



Рис. 7. Схема измерения с опцией «ДПА» для усилителей большой мощности (указаны предельно допустимые уровни входных сигналов для каждого порта):

1 – усилитель; 2 – направленный ответвитель для опорного приёмника; 3 – аттенюатор для опорного приёмника; 4 – направленный ответвитель для первого измерительного приёмника; 5 – аттенюатор для первого измерительного приёмника; 6 – исследуемое устройство; 7 – направленный ответвитель для второго измерительного приёмника; 8 – аттенюатор для второго измерительного приёмника; 9 – согласованная нагрузка

Для усилителей с высокой выходной мощностью, которая превышает уровень линейного режима работы ВАЦ (10 дБм), необходимо использовать схему, изображенную на рис. 7. Такие усилители в свою очередь требуют высокого уровня входной мощности, поэтому следует использовать усилитель по входу ИУ (1). Чтобы учитывать при измерении нестабильность параметров усилителя (коэффициент передачи, выходная мощность), необходимо направить сигнал после усилителя на вход ИУ, а также на первый опорный приемник. Для этого устанавливаем направленный ответвитель (2). Необходимо учитывать, что уровень сигнала, который попадает на первый опорный приемник, не должен превышать уровень линейного режима работы (-6 дБм). Устанавливаем аттенюатор (3) для компенсации усилителя по входу ИУ. Чтобы измерить коэффициент отражения необходимо направить отраженный сигнал от входного порта ИУ на первый измерить коэффициент отражения необходимо направить отраженный сигнал от входного порта ИУ на первый измерительный приемник. Для этого используем направленный ответвитель (4), а для того, чтобы приёмник оставался в линейном режиме работы используем аттенюатор (5). После направленного ответвителя (4) подключаем исследуемое устройство (6). Важно знать выходной уровень ИУ, для того

Измерение S-параметров с прямым доступом к приемникам (с опцией «ДПА»)

Задача: измерить коэффициент преобразования и коэффициент отражения умножителя частоты «MD701» производства компании «Микран». Характеристики устройства приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики умножителя частоты «MD701»

	Р _{вх} = +10 дБм	Р _{вх} = +12 дБм	Р _{вх} = +15 дБм
Диапазон входных частот, ГГц	613		
Диапазон выходных частот, ГГц	1226		
Потери преобразования, дБ	16	14	12

Для измерения коэффициента преобразования, когда необходимый входной уровень мощности умножителя менее +10 дБм, используется схема на рис. 8.



1 – ВАЦ; 2 – умножитель «МD701»

Схема, приведенная на рис. 8, не может быть применена, так как исходя из данных, приведённых в таблице 2, следует, что потери преобразования зависят от уровня мощности входного сигнала и для оптимального режима работы умножителя необходимо обеспечить уровень входного сигнала +15 дБм. ВАЦ «Панорама» не может обеспечить уровень мощности сигнала выше +10 дБм. Необходимо добавить усилитель в измерительную схему, как изображено на рис. 9.



Рис. 9. Измерение с усилением зондирующего сигнала без опции «ДПА»:

Данная схема не позволяет провести измерение коэффициента отражения (S₁₁) от MD701 из-за используемого усилителя. Для проведения корректных измерений SC21, S₁₁ необходимо устанавливать усилитель между портами «Генератор. выход» и «Генератор. вход», как изображено на рис. 10.



1 – ВАЦ; 2 – умножитель «MD701»; 3 – усилитель

Проведение измерения в соответствии со схемой на рис. 10 требует наличия опции «ДПА» для обеспечения прямого доступа к генератору, а так же опции «СЧП» (смещение частоты приемника), так как измеряемое устройство (умножитель) является частотно-преобразующим

Проведение измерения

- 1. Подготавливаем ВАЦ «Панорама» к работе в соответствии с руководством по эксплуатации.
- 2. Используем усилитель с коэффициентом усиления (КУ) 25 дБ, диапазоном рабочих частот 6...26 ГГц. Параметры выходной мощности изображены на рис. 11.



1	

3. Калибруем выходную мощность ВАЦ делаем в диапазоне входных частот умножителя (6...13 ГГц), рис. 12.

f	Частота				
Стар	т 6 ГГц				
Стоп	13 ГГц				
Цент	^{ւթ} 9,5 ГГц				
Поло	оса 7 ГГц				
Точе	ек 501				
Скан	ирование по списку Выкл Список				
	Полный обзор				
	Нулевой обзор				

Рис. 12. Установка частотного диапазона для калибровки выходной мощности.

4. Собираем схему для проведения калибровки выходной мощности рис. 13, в качестве эталонного измерителя мощности используем «PLS26» производства компании «Микран».

© 1 MI	ИКРАН ПАНОРАМА Ана P4226	изатор целей векторный 1		°
re G		<u>5</u> ~0		nort 2
3 A	2) 2) Ta	b. 0 b.	· ·	Andrew 200
	3	2 Измерите мощност	ль	

Рис. 13. Схема для калибровки выходной мощности ВАЦ: 1 – ВАЦ; 2 – измеритель мощности PLS26; 3 – усилитель

- 2
- 5. Для калибровки мощности в главном меню выбираем Калибровка -> Калибровка мощности -> Коррекция выходной мощности» в разделе «Измеритель мощности» нажимаем кнопку «Подключить». Выбираем необходимый измеритель мощности из списка, в нашем случае «PLS26». Смещение задаем равным коэффициенту усиления (КУ) используемого в схеме усилителя (25 дБ). Далее нажимаем кнопку «Калибровка», дожидаемся окончания калибровки (рис. 14). После проведения калибровки выходная мощность будет скорректирована с учетом КУ используемого усилителя.

<u>Ф</u> айл	<u>К</u> алибровка	<u>У</u> правление	Диаграмма	Tpacca	<u>М</u> аркер	Профиль	<u>В</u> ид	<u>С</u> правка
	<u>Мастер</u> Отключи	калибровки ить коррекцию		F6	•	Измерение	•	%
	Калибро	вка мощности		•	Коррек	ция <u>в</u> ыходн	ой мо	щности



			Избранное		
Описание	Адрес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние	Побронти
Адрес по умолчанию	169.254.0.254				- Дооавить
					Изменить
					— Удалить
Описание	Адрес прибора	По	оиск приборов Серийный номер	Состояние	- Durfermer
PLS26 1131190099	USB0::0x2b70::0x0021::11.	PLS26	1131190099	Свободен	В изоранное
					🔁 Повторить поиск
					Все приборы

6. Проводим калибровку приёмника второго порта в частотном диапазоне соответствующем выходному диапазону умножителя (в нашем случае 12...26 ГГц). Для этого в главном меню выбираем Калибровка -> Калибровка ка мощности -> Коррекция приёмников. В окне «Коррекция приёмников» нажимаем кнопку «Калибровка» (рис. 15). Далее следуем указаниям помощника.



Рис. 15. Настройка калибровки приёмника

- 7. Проводим двухпортовую SOLT калибровку S-параметров в частотном диапазоне 6...26 ГГц. Для этого в главном меню выбираем Калибровка -> Мастер калибровки. Далее следуем указаниям помощника.
- 8. После выполнения всех калибровок собираем измерительную схему, изображённую на рис. 10.

- 14
- 9. Коэффициент умножения исследуемого устройства равен 2, следовательно в панели управления «Преобразование частоты» устанавливаем Множитель частоты Р4 «2». В поля «Старт гетеродина», «Стоп гетеродина», «Множитель частоты гетеродина», «Смещение» устанавливаем значение «О».

🔗 Преобраз	ование частоты					
Преобразование						
	ВКЛ					
Векторная коррекция						
	Выкл					
Множитель/делитель	частоты Р4					
2	1					
Старт гетеродина						
	0 Гц					
Стоп гетеродина						
	0 Гц					
Множитель/делитель	частоты гетеродина					
0	1					
Смещение	0.5					
Course (man Rill	ОТЦ					
12 CTapT/CTON 114	26 554					
12114	2011Ц					
Отображать частоты						
приёмнянка ∞	incon 🚯 printinean 🕻 17 (17)) 233 03-83					

Рис. 16. Настройка преобразования

10. Создаем измерительную трассу для коэффициента преобразования SC21, рис. 17.

⊈айл	Калибровка	Управление Диаг	ранна Трасс	а Маркер !	Эрофиль	Вид Справка			_					
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	20	Модуль КП (дБ)	•	SC21	· 🎾 💃	00 L 1	≡ ∎·≣	•	_				
	🕒 СВЧ	冷 🐌 代	8 ₩	5% • •	• 13	🛛 🐸 🧯 ຳ	f /	N 🐜 🕈 🛓	•					
Иня	Тип	Кнл/Изн. Оп	орн. Ед./дел.	П Форнат		Функции						>	*	
	рсі И	SC21 0 A	Автома	е молил всштаб	A (1							Преобразова	ние частоты	<u>نې</u>
0 дБм			Sanow	нить Ctri	+R							Преобразование		f
0014 10 x Fu	40		ан Сохран	нить Ctrl	+F				×.	Автомасштаб диаграммы	Ctrl+Num *		ВКЛ	层
H/K			Удалит Измере	Tib E	Del L	511	-			Создать изнерительную	Tpaccy Ctrl+N	Векторная коррекция		Р
	30-		Форма	т	•	S <u>2</u> 1				Выделить все трассы	Ctrl+A	Множитель/делитель час	стоты Р4	Q
	20		А Усредн	ение	•	S <u>1</u> 2			۲	Маркеры	,	2	1	
			<i>№</i> Фазова	ая задержка		S22			8	Отчет	Ctrl+P			
	10		- Н Фильт	рация		Приёмники	·		8	<u>О</u> ткрыть данные	Ctrl+Y	старт гетеродина	0 Ги	ΠΠ
			о Времен	нная область		Сопротивление	1		習	⊆охранить данные	Ctrl+T	CTOD FREEDOMINO		
	•		П Цакала	ивание		Проводиность		C21	뫱	Периодическое сохранен	ие SnP файлов	cronnerepoppina	0 Гц	~^ <u>^</u>
			Огоана	Newsee		Измерение шум		• SC21	1	Создать диаграмму		Множитель/делитель час	стоты гетеродина	
	-10-		. Статис	тика	1			g1c (1->2)	8	Закрыть диаграмму		0	1	
			-		_			b1c(1->2)	1 B	Расположение диаграмм.		Сметение		-H-
	-20-							a2ç (1->2)		вид	,	createrne	0 Гц	
	.30							b2c (<u>1</u> ->2)				Старт/стоп ПЧ		Y
												12 ГГц	26 ГГц	P
	-40-											Отображать частоты		14A
												приёмника	-	
	12 FF4		F->[F*]	501		19 FT	ų			14 FF4	26 FF ų			Ø
R4226/3	1133180005	r4226-1133180005.tx	tz Подключ	ен О	внутр	C/BX -		С/ВЫХ -	T=37	"С 139 мс				

11. В панели управления «Преобразование частоты» можно задавать отображаемый диапазон частот путем выбора из списка в окне «Отображать частоты». Измерение S₁₁ проводим во входном частотном диапазоне умножителя (6...13 ГГц), отображаем частоту зондирования, S₂₂ и SC21 в выходном частотном диапазоне умножителя (12...26 ГГц), отображаем частоту приёмника. Результат измерения приведен на рис. 18 и рис. 19.



Рис 18. Результаты измерения. Коэффициент преобразования SC21, коэффициент отражения S₂₂



Рис 19. Результаты измерения. Коэффициент отражения S₁₁

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ВЕКТОРНЫЕ АНАЛИЗАТОРЫ ЦЕПЕЙ Р4226/Р4213 «ПАНОРАМА»



ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТНО-ПРЕОБРАЗУЮЩИХ УСТРОЙСТВ



Измерение частотно-преобразующих устройств

Программное обеспечение векторного анализатора цепей (ВАЦ) серии Р4213 \ Р4226 «Панорама» предоставляет пользователю возможность проводить такие измерения как:

- измерение умножителей частоты (требуется опция «СЧП»);
- измерение смесителей со скалярной калибровкой (требуется опция «СЧП»);
- измерение смесителей с векторной калибровкой (требуется опция «СПА»).

При измерении частотно-преобразующих устройств исследуемое устройство должно подключаться выходом ко второму порту ВАЦ.

Опция «СЧП» – смещение частоты приёмника, позволяет проводить измерение скалярного коэффициента преобразования SC₂₁, мощности на частотах, отличных от частоты зондирования. Возможность раздельного управления частотой зондирования и частотой приёмника, позволяет проводить измерения смесителей со скалярной калибровкой, умножителей частоты, анализировать уровень гармоник исследуемых устройств.

Опция «СПА» – переключатель опорного канала, совместно с опцией «ДПА» (прямой доступ к приёмникам), позволяет проводить измерения комплексного коэффициента преобразования С₂₁, и комплексных коэффициентов отражения от исследуемых устройств.

Ниже приведены параметры, которые позволяет измерять ВАЦ «Панорама»:

- S₁₁(f₁) комплексный коэффициент отражения на частоте зондирования f₁ при зондировании портом 1 на частоте f₁;
- S₂₁(f₁) комплексный коэффициент передачи на частоте зондирования f₁ при зондировании портом 1 на частоте f₁;
- S₁₂(f₂) комплексный коэффициент передачи на частоте зондирования f₂ при зондировании портом 2 на частоте f₂;
- S₂₂(f₂) комплексный коэффициент отражения на частоте зондирования f₂ при зондировании портом 2 на частоте f₂;
- b2c(f₂) мощность измерительного приёмника второго порта, измеренная на частоте f₂ при зондировании портом 1 на частоте f₁;
- SC₂₁ скалярный коэффициент преобразования, вычисляется как отношение b2C(f₂) к мощности, поступающей на исследуемое устройство на частоте f₁;
- С₂₁ комплексный коэффициент преобразования (необходимо проведение векторной калибровки, наличие опции «СПА»);
- ГВЗ групповое время запаздывания (необходимо проведение векторной калибровки).



Измерение умножителей частоты

Умножитель частоты – устройство, в котором на вход подается сигнал с частотой f_1 , а на выходе формируется сигнал с частотой $f_2 = N \cdot f_1$, где N – это целое число.

Схемы измерения умножителей частоты



Рис. 1а. Схема измерения умножителей частоты с помощью ВАЦ «Панорама»



Рис. 16. Схема измерения умножителей частоты с дополнительным усилением зондирующего сигнала



Рис. 1в. Схема измерения умножителей частоты с дополнительным усилением/ослаблением сигнала с возможностью измерения коэффициентов отражения: 1 – усилитель; 2 – умножитель частоты.

Параметры, которые схемы позволяют измерить: SC₂₁; b2c; S₁₁ (для схем на рис. 1а и 1в); S₂₂; коэффициент преобразования на 1, 2, 3...N гармониках зондирующего сигнала.

Устройства и опции, необходимые для проведения измерения: ВАЦ «Панорама» с опцией «СЧП» (с опцией «ДПА» для схемы, рис. 1в); измеритель мощности; набор калибровочных мер или электронный калибратор; кабельные сборки.

Калибровки, необходимые для проведения измерения: две однопортовые калибровки S-параметров; калибровка выходной мощности первого порта; калибровка приёмника второго порта, если измеряемое устройство не подключено напрямую к порту.

Схема на рис. 16 не позволяет измерить коэффициент отражения S₁₁ так как в схеме используется усилитель, который значительно ослабляет сигнал, отраженный от входного порта умножителя за счет развязки.

Опция «ДПА» предоставляет пользователю прямой доступ к СВЧ-входам приемников и СВЧ-выходам генератора.

ПРИМЕЧАНИЕ Применяя схему измерения на рис. 1в, необходимо помнить о том, что приёмники ВАЦ должны находиться в линейном режиме работы и при необходимости устанавливать аттенюаторы.

Измерение коэффициента преобразования умножителя

Пример 1.

Проведем измерение коэффициента преобразования (**SC**₂₁) и коэффициента отражения от первого порта (**S**₁₁) умножителя частоты «MD701» производства компании «Микран». Частотный диапазон входного сигнала (RF) = 6...13 ГГц, выходного сигнала (f₂) = 12...26 ГГц. Мощность зондирования 15 дБм. Технические характеристики устройства приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики умножителя частоты «MD701»

	Р _{вх} = 10 дБм	Р _{вх} = 12 дБм	Р _{вх} = 15 дБм		
Диапазон входных частот, ГГц		613			
Диапазон выходных частот, ГГц	1226				
Потери преобразования, дБ	16	14	12		

Исходя из данных в таблице 1, необходимо обеспечить уровень входного сигнала 15 дБм, чтобы добиться наименьших потерь преобразования. ВАЦ «Панорама» не может обеспечить необходимый уровень сигнала, значит необходимо использовать дополнительный усилитель. В качестве дополнительного усилителя используем «LNA 20» производства компании «Микран», коэффициент усиления (КУ) = 25 дБ, частотный диапазон работы усилителя 10 МГц...26,5 ГГц.

Для измерения коэффициента отражения от входного порта умножителя необходимо использовать ВАЦ «Панорама» с опцией «ДПА», т.к. необходим прямой доступ к тракту генератора ВАЦ. Усилитель необходимо установить между портами «Генератор выход» и «Генератор вход». Схема для измерения представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема измерения умножителя «МD701» с усилением зондирующего сигнала: 1) умножитель «MD701»; 2) усилитель «LNA 20».



- 1. Подготовьте ВАЦ к работе;
- 2. Запустить программное обеспечение Graphit;
- 3. Осуществить подключение к прибору (рис. 3);

Описание	Алоес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние			
P4M-18/3 1102170230	r4m-18-1102170230.tetz	P4M-18/3	1102170230	Своболен	🛉 В избранное		
P4M-18 1102080016	r4m-18-1102080016.tetz	P4M-18	1102080016	Занят			
P4M-18 1102099999	r4m-18-1102099999.tetz	P4M-18	1102099999	Занят			
P4213/4 1132190048	r4213-1132190048.tetz	P4213/4	1132190048	Занят	Повторить поиск		
P4213/6 1132190055	r4213-1132190055.tetz	P4213/6	1132190055	Занят			
P4226/5 1133180038	r4226-1133180038.tetz	P4226/5	1133180038	Свободен	Все приборы		
P4226A 1133190021	r4226-1133190021.tetz	P4226A	1133190021	Свободен			
R4226 1133150001	r4226-1133150001.tetz	R4226	1133150001	Занят			
	Выберите прибор для подключе или перетащите запись в списо избранных приборов при помо	ения к щи мыши			Подключаться по умолчании		

Рис. 3. Подключение к ВАЦ

4. Сбросить настройки программного обеспечения Graphit по умолчанию, для этого нажать кнопку

«Восстановить начальные параметры»

5. В панели управления «Мощность» установить параметры мощности зондирования – 10 дБм, т.к. используется усилитель с КУ = 25 дБ (рис. 4).

ПРИМЕЧАНИЕ При установке мощности зондирования необходимо учитывать, что приёмники ВАЦ должны находиться в линейном режиме работы и устанавливать внутренние / внешние аттенюаторы.

р Мощное	сть
Старт	
Стоп	
Центр	- <mark>10</mark> дБм
Полоса	
Точек	
Управление аттенюаторами ручное	Ţ
Аттенюатор генератора (пор	от 1 / 2)
0 дБ	0 дБ
Аттенюаторы приёмников (п	юрт 1 / 2)
0 дБ	0 дБ

Рис. 4. Установка мощности зондирования

- микран
 - 6. Установить частотный диапазон для калибровки выходной мощности ВАЦ. **Частотный диапазон при калибровке должен включать в себя весь частотный диапазон работы умножителя**. В нашем примере диапазон калибровки 6...26 ГГц (рис. 5).

f yac	стота
Старт	6 ГГц
Стоп	26 ГГц
Центр	16 ГГц
Полоса	20 ГГц
Точек	501
Сканирование по списку	Список
Полный	обзор
∘∞∞тНулевой	обзор

Рис. 5. Установка частотного диапазона для калибровки выходной мощности

7. Собрать схему для проведения калибровки выходной мощности (рис. 6). В качестве эталонного измерителя мощности используем «PLS26» производства компании «Микран».

0	Пикран	ПАНОРАМА Анализатор целей векторный Риззб	- -
		NIM TEHENTOP OTOPH PO PO PO PO PO PO PO PO PO PO	
			ROPT 2
8		b, or the state of	A Transfer A Transfer
		Измеритель мощности	

Рис. 6. Схема для калибровки выходной мощности ВАЦ: 1) ВАЦ «Панорама»; 2) эталонный измеритель мощности «PLS26»; 3) усилитель «LNA20».

8. Выбрать в главном меню Калибровка -> Калибровка мощности -> Коррекция выходной мощности. В окне «Коррекция выходной мощности», в разделе «Измеритель мощности» нажать кнопку «Подключить». Выбрать необходимый измеритель мощности из списка. Смещение задать равным КУ усилителя, используемого в схеме (в нашем примере 25 дБ). Если в схеме не используется усилитель смещение задать равным нулю. Нажать кнопку «Калибровка», дождаться окончания калибровки (рис. 7). После проведения калибровки выходная мощность ВАЦ будет скорректирована с учетом КУ используемого усилителя.

<u>Ф</u> айл	<u>К</u> алибровка	Управление	Диаграмма	Tpacca	Маркер	Профиль	<u>В</u> ид	<u>С</u> правка	
	洚 <u>М</u> астер	калибровки		F6	•	Измерение	-	*O *C	1
	<u>О</u> тключі	ить коррекцию						100	
	Калибро	вка мощности		•	Коррек	ция <u>в</u> ыходн	ой мо	щности	1

Тараметры выходной моц	цности		Измеритель мощности
	TIOPT 1	TOPT 2	Статус: подключен
Значение на выходе:	15 дБм 🗼 🕨	-10 дБм 🗼 >	Информация: Micran, PLS26, 1131190099, В. 6.0
Смещение:	25 дБ 🔶 🛉	0 дБ 🔹 🛌	
Коррекция:	Включена	Включена	
3	Калибровка	Калибровка	2
Допустимое отклонение	мощности:	0,5 дБ 🔹 🔪	Отключить

Рис. 7. Проведение калибровки выходной мощности ВАЦ

 Соединить порты ВАЦ между собой. Провести калибровку приёмника второго порта в выходном частотном диапазоне умножителя (12...26 ГГц). Выбрать в главном меню Калибровка -> Калибровка мощности -> Коррекция приёмников. В окне «Коррекция приёмников» нажать кнопку «Калибровка». Дождаться окончания калибровки (рис. 8).



Рис. 8. Проведение калибровки приёмника второго порта ВАЦ

10. Выбрать в главном меню *Калибровка -> Мастер калибровки*. Провести однопортовую SOLT калибровку первого порта **во входном диапазоне рабочих частот умножителя**, следуя указаниям мастера калибровки, рис. 9.

	далиоровка	Упровление	Диаграмма	Thace		
	Мастер	калибровки		F6		
	Отключ	ить коррекцик)	1		
1споль	ьзуемые порты					
🔘 пор	ты 1, 2		🔘 порт 1			12
Конфи	гурация портов	исследуемого у	стройства			
	Соединител	њ:	Калибровочный	й набор:		Описание набора:
Порт 1	L: 3,5/SMA ви	лка 💌	HKMM-13-13P	Nº2196090535	•	Соединители тип 3,5 мм
Порт 2	3,5/SMA ви	лка 🔻	HKMM-13-13P	№2196090535	•	Соединители тип 3,5 мм
		Terroret (Let			
ß	⁾ Шаг 1 и	з 3	Список к	алибровочных набор	05	
<u>у</u>) Шаг 1 и	з 3	Список к	алибровочных набор	05	
урт 1 - Х	⁾ Шаг1и	з 3	Список к	алибровочных набор	08	
OPT 1) Шаг 1 и	з 3	Список к	алибровочных набор	05	
орт 1 К С) Шаг 1 и	з 3	Список к	алибровочных набор	08	
OPT 1 K) Шаг 1 и х з	з 3	Список к	алибровочных набор	05	
орт 1 Х К С) Шаг 1 и х з н Подклю	з 3 чите нагрузку «	Список к хх (в)» (№22510	алибровочных набор 90535) на порт 1.	08	
OPT 1) Шаг 1 и х з н	з 3 чите нагрузку «	Список к XX (в)» (№22510	алибровочных набор 90535) на порт 1.	08	

Рис. 9. SOLT калибровка первого порта

11. Выбрать в главном меню Калибровка -> Мастер калибровки. Провести однопортовую SOLT калибровку второго порта в выходном диапазоне рабочих частот умножителя, следуя указаниям мастера калибровки, рис. 10.

Мастер калибровки F6	айл !	<u>К</u> алибровка	<u>У</u> правление	Диаграмма Трасс		
Отключить коррекцию Используеные порты порты 1, 2 порт 1 порты 1, 2 порт 1 Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка НКИМ-13-13Р №2196090535 Соединители тип 3,5 мм Порт 2: 3,5/SMA вилка НКИМ-13-13Р №2196090535 Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов		🦄 Мастер	калибровки	F6		
Аспользуеные порты порты 1, 2 порт 1 @порт 2 Сонфигурация портов исследуеного устройства Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3 2007 2 Ка		Отключи	ть коррекцик			
© порты 1, 2 © порт 1 © порт 2 Конфигурация портов исследуемого устройства Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3	Использ	зуемые порты				
Конфигурация портов исследуемого устройства Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка Калибровочный набор: Соединители тип 3,5 мм Порт 2: 3,5/SMA вилка Калибровочных наборов Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3 Списак калибровочных наборов	🗇 порт	ты 1, 2		🔘 порт 1	Опор	от 2
Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка НКММ-13-13Р №2196090535 Соединители тип 3,5 мм Горт 2: 3,5/SMA вилка НКММ-13-13Р №2196090535 Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3	Конфиг	урация портов	исследуемого у	стройства		
Порт 1: 3,5/SMA вилка		Соединител	ь:	Калибровочный набор:		Описание набора:
Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3	Порт 1:	3,5/SMA вил	тка 💌	HKMM-13-13P Nº2196090535	•	Соединители тип 3,5 мм
Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3 орт 2 КЗ		Real Property lies and the second sec				
У Шаг 1 из 3	Порт 2:	3,5/SMA вил	тка 🔻	HKMM-13-13P Nº2196090535	•	Соединители тип 3,5 мм
	Порт 2:	3,5/SMA вил	жа т	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на	боров	Соединители тип 3,5 мм
	Порт 2: орт 2 — XX — K3 — СН	3,5/5МА вил Шаг 1 и:	_{тка •}	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на	боров	Соединители тип 3,5 мм
	Порт 2: орт 2 - XX - КЗ - СН	3,5/SMA вил Шаг 1 и:	_{тка} •	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на	боров	Соединители тип 3,5 мм
Подключите нагрузку «XX (в)» (№2251090535) на порт 2.	Порт 2: Орт 2 С ХХ С Н	3,5/5МА вил Шаг 1 и:	ка ▼ 3 3	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на ХХ (в)» (№2251090535) на порт 2.	соров Соров	Соединители тип 3,5 мм

Рис. 10. SOLT калибровка второго порта



12. В панели управления «Преобразование частоты» установить множитель частоты в соответствии с коэффициентом умножения исследуемого умножителя по формуле, приведенной ниже.

$$f_2 = \frac{a}{b}f_1 + \frac{c}{d}f_{\Gamma} + f_{\rm CM} ,$$

где f₁ – частота зондирующего сигнала и приёмников первого порта;

f₂ – частота зондирующего сигнала и приёмников второго порта;

f_r – частота гетеродина (при отсутствии внешнего гетеродина множитель «с» задается равным нулю;

f_{см} – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;

- а множитель частоты первого порта;
- **b** делитель частоты второго порта;
- с множитель частоты гетеродина;
- d делитель частоты гетеродина.

В случае измерения умножителей частоты, которые характеризуются формулой $f_2 = N \cdot f_1$, коэффициент a – является множителем N для f_1 . Изменяя коэффициент a можно измерить уровень прохождения 2, 3, 4 и т.д. гармоник через умножитель. При измерении не используется гетеродин, множитель частоты гетеродина c устанавливается равным нулю. Дополнительное смещение так же не задается, $f_{cm} = 0$.

В нашем примере коэффициент умножения равен 2, гетеродин не используется, рис. 11.

Преобразован	ние частоты
Преобразование	вкл
Векторная коррекция	Выкл
Множитель/делитель част	готы Р4
2	1
Старт гетеродина	0 Гц
Стоп гетеродина	0 Гц
Множитель/делитель част	готы гетеродина
0	1
Смещение	0 Гц
Старт/стоп ПЧ	
12 ГГц	26 ГГц
Отображать частоты приёмника	¥

Рис. 11. Настройка преобразования частоты

13. Создать измерительную трассу для коэффициента преобразования SC₂₁, рис. 12.

Файл Калибровка Управление	Диагранна Ірасса Маркер Профиль Вид Справка Модуль КП [дб] → SC21 → 90 90 © Ξ Ξ → 100 (Ас 20 Анн 5% → 100 - 20 В 82 82 10 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00	- · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
Имя Тип Кнл/Изм.	Опорн. Ед./дел. П., Форнат Функции 0 дБ 10 лБ 5 Макчиск ДБ Датомасштаб А Запомицта Стг-К	>> Преобразование частоты
ФПЧ 10 кГц H/K	бохранить Ctrl+F	Треооразование КЛ КЛ КЛ КЛ КЛ КЛ КЛ КЛ КЛ К
30 -	<u>Измерение</u> Формат А Усреднение 512	Создать натематическую трассу Сtrl+M Выделить все трассы Ctrl+A Маркеры 2 1
10	В ременная область S22 № Временная область Сопротивление	
0.	Ин Сглаживание Проводимость 11 Накопление • Преобразование C21	Сохранить данные Стг+т Сохранить данные Стг+т Стоп гетеродина Стоп гетеродина Стоп гетеродина О Гц Миохитель/пелитель частоты гетеродина
-10-	Ограничение измерение шума • 521 Ограничение Заіс (1->2) <u>bic (1->2) </u>	Закрыть диаграмму Расположение диаграмм О 1 Можн слад дели с
-30	a2 <u>c</u> (1->2) b2c(<u>1</u> ->2)	старт/стоп ПЧ О ГЦ О Г
-40-		Отображать частоты приёмника
12 ГГц R4226/3 1133180005 r4226-113318	F>[F*] 501 19 ГГц 30005 tetz Покулериен 0 Г ВНУТР С/ВУ.	147Tu 26 Tfu

Рис. 12. Создание измерительной трассы для коэффициента преобразования SC₂₁

14. В панели управления «Преобразование частоты» можно задавать отображаемый диапазон частот путем выбора в окне «Отображать частоты». Измерение S₁₁ проводим во входном частотном диапазоне работы умножителя (6...13 ГГц), отображаем частоту зондирования, а S₂₂ и SC₂₁ в выходном частотном диапазоне работы умножителя (12...26 ГГц), отображаем частоты приёмника. Результат измерения приведен на рис. 13 и рис. 14.

1 R4226/3	КРАН 1133180005, G	raphit 2.5.27			М	D701				26.09.2019 15:16:32
MD701										
	Трс3_П1	SC	21 Mo	одуль КП [дБ]	Оп 4 д	Б	3 дБ/дел	Поз 5	Tpc3 [14:52:42	, 26.09.2019] Сгл1
	Tpc4_I1	S2	22 A	мпл лог [дБ]	Оп 4 д	5	3 дБ/дел	Поз 5	Tpc4 [14:52:46	, 26.09.2019] Сгл2
0 <u>Δ</u> БM ΦΠЧ 1 κΓц S11 OΠ S22 OΠ(!) KBM1 (!)										
	-5					_				
	-8-	1 2		3 4		5	6 7		8 9	10
1	2 ГГЦ 🔲 🗖		F->[F*]	501	:	19 ГГц		14 ГГц		26 FFI
Маркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Позиция	13,000000 ГГц	14,000000 ГГц	16,000000 ГГц	17,000000 ГГц	19,000000 ГГц	20,000000 ГГц	21,000000 ГГц	23,000000 ГГц	24,000000 FFL	25,000000 FFu
Трс3_П1	13,273 дБ (!)	13,592 дБ (!)	12,399 дБ (!)	12,847 дБ (!)	11,325 дБ	11,329 дБ (!)	11,658 дБ (!)	11,813 дБ (!)	10,802 дБ (!)	10,044 дБ (!)
Трс4_П1	-3,190 дБ (!)	-3,702 дБ (!)	-2,695 дБ (!)	-5,142 дБ (!)	-4,714 дБ	-4,467 дБ (!)	-3,831 дБ (!)	-3,643 дБ (!)	-3,731 дБ (!)	-3,711 дБ (!)

Рис. 13. Результаты измерения. Коэффициент преобразования SC21, коэффициент отражения S22.



аркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
озиция	6,500000 ГГц	7,000000 ГГц	8,000000 ГГц	8,500000 ГГц	9,000000 ГГц	10,000000 ГГц	10,500000 ГГц	11,000000 ГГц	12,000000 ГГц	12,500000 ГГц
ic1_∏1	-10,779 дБ (!)	-10,693 дБ (!)	-10,234 дБ (!)	-10,096 дБ (!)	-11,043 дБ (!)	-17,340 дБ (!)	-21,751 дБ (!)	-22,001 дБ (!)	-14,938 дБ (!)	-13,838 дБ (!)

Рис. 14. Результаты измерения. Коэффициент отражения S₁₁.

II JPC WITH Consequences in a province to a constant and the consequences of the constant and the constant a

Измерение смесителей

Векторный анализатор цепей (ВАЦ) Р4226А «Панорама» позволяет проводить измерение коэффициента преобразования смесителей со скалярной и векторной калибровкой.

При измерении смесителей необходимо использовать внешний генератор сигнала гетеродина. Необходимо соединить входы и выходы синхронизации генератора и ВАЦ для синхронной перестройки по частоте, рис 15. Также необходимо соединить выход опорного сигнала генератора и вход опорного сигнала ВАЦ.

ПРИМЕЧАНИЕ Использование общей опорной частоты ВАЦ и генератора является обязательным условием для корректных измерений.



Рис. 15. Синхронизация ВАЦ и гетеродина

В качестве генератора сигнала гетеродина в данной инструкции используются приборы производства компании «Микран» серии «Г7М», «PLG», «P2M».



Схемы измерения смесителей со скалярной калибровкой

Рис. 16а. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина со скалярной калибровкой: 1) смеситель; 2) генератор сигнала гетеродина.



Рис. 16б. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина со скалярной калибровкой, дополнительным усилением зондирующего сигнала: 1) смеситель; 2) генератор сигнала гетеродина; 3) усилитель.

МИКРАН



Рис. 16в. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина со скалярной калибровкой, дополнительным усилением зондирующего сигнала с возможностью измерения коэффициента отражения: 1) усилитель; 2) смеситель; 3) генератор сигнала гетеродина.

Параметры, которые схема позволяет измерить: SC₂₁; b2c; S₂₂; коэффициент преобразования на произвольной ПЧ; S₁₁, S₁₂, S₂₁, для схем на рис. 16а и 16в.

Устройства и опции, необходимые для проведения измерения: ВАЦ «Панорама» с опцией «СЧП» (с опцией «ДПА» для схемы на рис. 16в); измеритель мощности; калибровочный набор или электронный калибратор; кабельные сборки.

Калибровки, необходимые для проведения измерения: двухпортовая калибровка S-параметров; калибровка выходной мощности первого порта; калибровка приёмника второго порта, если измеряемое устройство не подключено напрямую к порту.

Схема на рис. 16б не позволяет измерить коэффициент отражения S₁₁ так как в схеме используется усилитель, который значительно ослабляет сигнал, отраженный от входного порта умножителя за счет развязки.

Опция «ДПА» предоставляет пользователю прямой доступ к СВЧ-входам приемников и СВЧ – выходам генератора.

<u>ПРИМЕЧАНИЕ</u> Применяя схему измерения на рис. 16в, необходимо помнить о том, что приёмники ВАЦ должны находиться в линейном режиме работы и при необходимости устанавливать аттенюаторы. Подробнее об уровнях входного сигнала можно узнать в инструкции по применению ВАЦ Р4212/Р4226 «Панорама» Опция «ДПА», которую можно скачать на сайте www.micran.ru.

Пример 2.

Проведем измерение коэффициента преобразования SC₂₁, коэффициенты отражения S₁₁, S₂₂, развязку S₂₁ смесителя «MD621» производства компании «Микран» со скалярной калибровкой. Характеристики устройства приведены в таблице 2. Частотный диапазон входного сигнала (**RF**) = 3,05...20 ГГц, сигнала гетеродина (**LO**) = 3...19,95 ГГц, промежуточная частота (**IF**) = 50 МГц. Мощность зондирования 0 дБм.

Таблица 2. Технические характеристики смесителя «MD621»

Диапазон частот, ГГц	36	610	1017	1726
Потери преобразования, CL *, дБ	13	8	10	13
Сжатие на 1 дБ по входу, Р1 *, дБм	10	12	12	13
Интермодуляция третьего порядка, IIP3 **, дБм	20	16	20	22
Возвратные потери по входу RF, RL _{RF} *, дБ	5	6	6	5
Возвратные потери по входу LO, RL _{LO} *, дБ	5	6	5	5
Изоляция LO-RF, дБн	35	35	35	30
Изоляция RF-IF, дБн	15	20	20	20
Изоляция LO-IF, дБн	18	20	25	25

Для измерения параметров смесителя будем использовать схему, приведенную на рис. 17.



Рис. 17. Схема измерения смесителя «MD621» со скалярной калибровкой: 1) смеситель «MD621»; 2) генератор сигнала гетеродина.

В качестве источника сигнала гетеродина и эталонного измерителя мощности используем синтезатор частот серии «Г7М-20» и измеритель мощности «PLS26» производства компании «Микран» соответственно.



- 1. Подготовить ВАЦ к работе;
- Запустить программное обеспечение Graphit; 2.
- 3. Осуществить подключение к прибору, рис. 18;

Описание	Адрес прибора	Тип Серийный номер	Состояние			
P4M-18/3 1102170230	r4m-18-1102170230.tetz	P4M-18/3	1102170230	Свободен	в изоранное	
P4M-18 1102080016	r4m-18-1102080016.tetz	P4M-18	1102080016	Занят		
P4M-18 1102099999 r4m-18-110209999		P4M-18	1102099999	Занят		
P4213/4 1132190048	r4213-1132190048.tetz	P4213/4	1132190048	Занят	Повторить поиск	
P4213/6 1132190055	r4213-1132190055.tetz	P4213/6	1132190055	Занят		
P4226/5 1133180038	r4226-1133180038.tetz	P4226/5	1133180038	Свободен	Все приборы	
P4226A 1133190021	r4226-1133190021.tetz	P4226A	1133190021	Свободен		
R4226 1133150001	r4226-1133150001.tetz	R4226	1133150001	Занят	0	
Выберите прибор для подключения или перетащите запись в список избранных приборов при помощи мыши					Подключаться по умолчани	

Рис. 18. Подключение к ВАЦ

4. Сбросить настройки программного обеспечения Graphit по умолчанию, для этого нажать кнопку 100

«Восстановить начальные параметры»

5. В панели управления «Мощность» установить параметры мощности зондирования 0 дБм, рис. 19;

Р Мощнос	CT6	ţĴ}
Старт		f
Стоп		p
Центр		Q
	0 дБм	0
Полоса		Ш
Точек		MA
Управление аттенюаторами DVЧНО Е		₩ð
Аттенюатор генератора (пор	т 1 / 2)	~ H ~
0 дБ	<mark>0 д</mark> Б	\otimes
Аттенюаторы приёмников (п	орт 1 / 2)	
0 дБ	0 дБ	

Рис. 19. Установка мощности зондирования для измерения смесителя «MD621»

6. Выбрать в главном меню *Калибровка -> Мастер калибровки*. Провести двухпортовую SOLT калибровку в частотном диапазоне, **включающем в себя весь рабочий диапазон смесителя**, рис. 20. В нашем случае частотный диапазон для проведения калибровки 50 МГц...20 ГГц;

			G P4. Векторный анализ	затор цепей [Emulator] - Graphit 2.5		
f	Частота	<u>{</u>	Файл Калибровка у Мастер ка.	правление либровки	Диаграмма <u>Т</u> расс F6		
Старт	50 МГц	f	Отключите	ь коррекцию	I		
Стоп	20 ГГц	p	порты 1, 2 Конфигурация портов ис Соорницаторы	следуемого ус	© порт 1 тройства Кальборгонный наборг	🔘 порт	2
Центр	10,025 ГГц	Q O	Порт 1: 3,5/SMA вилка Порт 2: 3,5/SMA розет	a 🔻	HKMM-13-13P №2196090535	- (Соединители тип 3,5 мм Соединители тип 3,5 мм
Полоса	19,95 ГГц				Список калибровочных на	боров	
Точек	501	MA	🌽 Шаг 1 из	7			
-Сканиров	зание по списку Выкл Список Полный обзор	₩	Порт 1 — XX — K3 — CH Порт 2 — XX				
	Нулевой обзор	\bigotimes	— КЗ — СН Порты 1,2 — Проход	ючите нагруз	ку «XX (в)» (№2251090535) на по	рт 1.	Мера отражения

Рис. 20. Установка частотного диапазона и проведение калибровки S-параметров для измерения смесителя «MD621»

7. Подключить эталонный измеритель мощности к первому порту ВАЦ в плоскости калибровки S-параметров, рис. 21;



Рис. 21. Подключение измерителя мощности к ВАЦ

8. Провести калибровку выходной мощности ВАЦ в частотном диапазоне, включающем в себя входные и выходные частоты смесителя (50 МГц...20 ГГц), рис. 22;

<u>Ф</u> айл	<u>К</u> алибровка	Иправление Ди	иаграмма Трасс	а <u>М</u> аркер <u>Профиль В</u> ид <u>С</u> правка
] 👜	Мастер ка Отключит	либровки ь коррекцию	F6	· 1 · 50 %
	Калибровн	ка мощности	•	Коррекция выходной мощности
[]] [🔏 Информац	ция о калибровк	ax Alt+F6	Коррекция приёмников
Парамет	тры выходной мош	ности ПОРТ 1	NOPT 2	Измеритель мощности Статус: подключен
Значен Смещен	ие на выходе: ние:	0 дБм 🗇 > 0 дБ 🗘 >	0 дБм 🔹 > 0 дБ 🔹 •	Информация: <i>Micran, PLS26, 1131180008, С. 1.3</i>
Коррек	сция: (3)	Включена Калибровка	Включена Калибровка	(2)
Допуст	гимое отклонение и	мощности:	0,5 дБ 🔶 🕨	Отключить
				ОК Отмена

Рис. 22. Проведение калибровки выходной мощности для измерения смесителя «MD621»

- 9. Собрать измерительную схему, изображенную на рис. 17;
- 10. В панели управления «Преобразования частоты» задать параметры гетеродина, рис. 23;

Преобразова	ние частоты	₹Ĝ}
Преобразование	вкл	f
Векторная коррекция		p
Множитель/делитель час	стоты Р4	Q
1	1	0
Старт гетеродина	З ГГц	Ш
Стоп гетеродина	19,95 ГГц	MΛ
Множитель/делитель час -1	стоты гетеродина 1	₩ ₩
Смещение	0 Гц	nn ⊗
Старт/стоп ПЧ		
50 МГц	50 МГц	F
Отображать частоты ЗОНДИРОВАНИЯ	-	×۲¢

Рис. 23. Задание параметров преобразования частоты

Синхрон	низация	ŝ
Синхровход начало измерения	Ţ	f
Инверсия синхровхода	Выкл	p
Синхровыход		2
След. точка	•	0
таррони старовалода	Выкл	Ш
Длительность импульса	а 10 мкс	MA
Синхроген. (высокий/низк	кий уровень)	MAS
100 нс	900 нс	
Опорный генератор	Learning Commission	~ T ~
автовыбор 🚽	10 MFų	\otimes
Дополнител	тьно	

Рис. 24. Настройка генератора сигнала гетеродина

Ø	Управление	₽+ ×
Режим р	работы:	
Сканир	ование по частоте	-
Режим з	апуска:	
Внешни	Й	•
Момент	запуска:	
Следую	щая точка	•
Время у	держания точки:	
10		мкс 🔻
f	Частота	¢-×
p	Мощность	¢- ×
C	Синхронизация	r⊢ ×
	~ ~	

Ø	Управление 4- ×
f	Частота 4-х
Тип развертки Линейный	🔘 Логарифмический
Старт:	
3 000	🗧 🖬 МГц 🔻
Стоп:	
19,95	🗦 🖬 МГц 🔻
Центр:	
1 509,975	🗦 🖬 МГц 🔫
Полоса:	
2 980,05	🗦 🖬 МГц 🔫
Количество точ	ек:
501	*
n	олный диапазон
p	Мощность 4- х
Cr Cr	нхронизация + ×
Опо	рный генератор 🛛 🕂 🗙

Ø	Управл	ение		4	- ×
f	Част	ота		4	- x
p	Мощн	ость		4	- ×
2	Синхрон	изация	A	4	- ×
Режим с	инхровыхода:				
Захват Ф	АПЧ/АРМ				•
Инвер Длителы	тировать синхр ность сигнала с	овыход инхровы	хода	a:	
10		*		мкс	•
Парамет	ры синхрогенер	атора:			
Длителы	ность импульса:				
		1000			
20		(E)	圖	HC	
20 Период г	товторения имп	ульса:	I	нс	
20 Период т 30	товторения имп	кульса:		нс	+
20 Период г 30	тировать синхр	ульса: Ф		нс	
20 Период г 30 ПИнвер	товторения имп тировать синхр ее управление	ульса: Ф овход мощнос	ш	HC	-
20 Период г 30 Пинвер Внешн	товторения имп тировать синхр ее управление Опорный г	ульса: овход мощнос енерат	тью	HC	- ×
20 Период г 30 Пинвер Внешн О Внешн	товторения имп тировать синхр ее управление Опорный ген ий опорный ген	ульса: ульса: овход мощнос енератор	тью	HC	- ×
20 Период г 30 Инвер Внешн Ю Внешн 10 МГц	товторения имп тировать синхр ее управление Опорный ген ий опорный ген	ульса: овход мощносс енератор	тью	HC	- X
20 Период т 30 Инвер Внешн Ø Внешн 10 МГц Смещени	тировать синхр ее управление Опорный ген ий опорный ген е фазы выходни	ульса: ульса: овход мощнос енератор ого сигн	ш тью гор	HC	- ×

Рис. 25. Настройка синхронизации генератора «Г7М-20»

12. Создать измерительную трассу для коэффициента преобразования SC₂₁, рис. 26;



Рис. 26. Создание измерительной трассы для коэффициента преобразования SC21
13. Результаты измерения представлены на рис. 27;



Маркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позиция	4,000000 ГГц	6,000000 ГГц	8,000000 ГГц	10,000000 ГГц	12,000000 ГГц	14,000000 ГГц	16,000000 ГГц	18,000000 ГГц	20,000000 ГГц
Преобразование SC21	-10,67 дБ (!)	-8,25 дБ (!)	-6,289 дБ (!)	-6,331 дБ (!)	-7,209 дБ (!)	-8,162 дБ (!)	-8,618 дБ (!)	-8,649 дБ (!)	-8,639 дБ
Развязка S21	-23,01 дБ (!)	-25,81 дБ (!)	-20,813 дБ (!)	-24,709 дБ (!)	-35,894 дБ (!)	-41,877 дБ (!)	-45,211 дБ (!)	-35,140 дБ (!)	-38,268 дБ
КО от вторго порта S22	-7,23 дБ (!)	-9,13 дБ (!)	-18,061 дБ (!)	-24,022 дБ (!)	-17,073 дБ (!)	-24,321 дБ (!)	-17,915 дБ (!)	-17,082 дБ (!)	-18,250 дБ
КО от первого порта S11	-2,64 дБ (!)	-3,98 дБ (!)	-13,585 дБ (!)	-23,722 дБ (!)	-10,706 дБ (!)	-8,681 дБ (!)	-5,873 дБ (!)	-7,714 дБ (!)	-8,873 дБ

Рис. 27. Результат измерения смесителя «MD621» со скалярной калибровкой



Схема измерения смесителей с векторной калибровкой

Рис 28. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина с векторной калибровкой: 1) фильтр ПЧ для опорного приёмника; 2) опорный смеситель; 3) делитель мощности; 4) генератор сигнала гетеродина; 5) согласующий аттенюатор; 6) калибровочный/исследуемый смеситель; 7) фильтр ПЧ для измерительного приёмника.

Параметры, которые схема позволяет измерить: C₂₁; b2c; ГВЗ; S₁₁; S₂₂; коэффициент преобразования на произвольной ПЧ.

Устройства и опции, необходимые для проведения измерения: ВАЦ «Панорама» с опцией «СПА»; внешний генератор сигнала гетеродина (Г7М, Р2М, РLG, либо другие в неуправляемом режиме); два дополнительных смесителя – «опорный» и «калибровочный»; аттенюатор (ослабление 3...10 дБ) для улучшения согласования первого порта; фильтр, пропускающий преобразованный сигнал промежуточной частоты и подавляющий паразитные сигналы; калибровочный набор или электронный калибратор; набор кабельных сборок.

Разность фаз коэффициента передачи S₂₁ некоторой цепи – это разность фаз гармонического сигнала на входе и на выходе цепи. В случае измерения разности фаз между сигналами до преобразования и после преобразования (на разных частотах) будем обозначать понятие «фаза» в кавычках.

Наклон «ФЧХ» C₂₁(f) – зависимость «фазы» C₂₁ от частоты, имеет физический смысл. Также как наклон ФЧХ S₂₁(f), он пропорционален групповому времени задержки (ГВЗ).

Физический смысл коэффициента преобразования С₂₁ появляется при возведении его в квадрат, т.е. при повторном прохождении сигнала через смеситель и преобразовании на частоту f₁. Например, если к выходу смесителя подключить идеальную отражающую нагрузку (с нулевой задержкой и коэффициентом отражения) или с помощью такого же смесителя выполнить обратное преобразование частоты f₂ и f₁, как показано на рис. 29.



Рис 29. Преобразование через смеситель

Изменение фазы сигнала, дважды прошедшего через смеситель, равно удвоенной «фазе» коэффициента преобразования С₂₁:

$$\Delta \phi = 2 \cdot \operatorname{Arg}(C_{21}).$$

// DECIMITATION 🖾 integration on 🕼 protein.com

Пример 3.

Проведем измерение комплексного коэффициента преобразования С₂₁ смесителя «MD621» производства компании «Микран». Характеристики устройства приведены в таблице 3. Частотный диапазон входного сигнала (**RF**) = 4,5...20 ГГц, сигнала гетеродина (**LO**) = 3,6...19,1 ГГц, промежуточная частота (**IF**) = 900 МГц. Мощность зондирования 0 дБм.

Таблица 3. Технические характеристики смесителя «MD616».

Диапазон частот, ГГц	36	610	1017	1726
Потери преобразования, CL *, дБ	13	8	10	13
Сжатие на 1 дБ по входу, Р1 *, дБм	10	12	12	13
Интермодуляция третьего порядка, IIP3 **, дБм	20	16	20	22
Возвратные потери по входу RF, RL _{RF} *, дБ	5	6	6	5
Возвратные потери по входу LO, RLLO*, дБ	5	6	5	5
Изоляция LO-RF, дБн	35	35	35	30
Изоляция RF-IF, дБн	15	20	20	20
Изоляция LO-IF, дБн	18	20	25	25

Для измерения будем использовать схему, приведенную на рис. 30. В качестве генератора сигнала гетеродина используем *синтезатор частот серии* «**Г7М-20**». В качестве «опорного» и «калибровочного» смесителя используем смесители «**МD621**». Фильтры промежуточной частоты – ППФ 900 МГц.



Рис. 30. Схема измерения смесителя «МD616» с векторной калибровкой:

фильтр ПЧ для опорного приёмника;
 опорный смеситель;
 делитель мощности;
 генератор сигнала гетеродина;
 осгласующий аттенюатор;
 калибровочный \ исследуемый смеситель;
 фильтр ПЧ для измерительного приёмника.



- Подготовить ВАЦ к работе; 1.
- Запустить программное обеспечение Graphit; 2.
- Осуществить подключение к прибору, рис. 31; 3.

Описание	Адрес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние			
P4M-18/3 1102170230	r4m-18-1102170230.tetz	P4M-18/3	1102170230	Свободен	изоранное		
P4M-18 1102080016	r4m-18-1102080016.tetz	P4M-18	1102080016	Занят			
P4M-18 1102099999	r4m-18-1102099999.tetz	P4M-18	1102099999	Занят	🔁 Повторить поис		
P4213/4 1132190048	r4213-1132190048.tetz	P4213/4	1132190048	Занят			
P4213/6 1132190055	r4213-1132190055.tetz	P4213/6	1132190055	Занят			
P4226/5 1133180038	r4226-1133180038.tetz	P4226/5	1133180038	Свободен	Все приборы		
P4226A 1133190021	r4226-1133190021.tetz	P4226A	1133190021	Свободен			
R4226 1133150001	r4226-1133150001.tetz	R4226	1133150001	Занят	<u> </u>		
	Выберите прибор для подключе или перетащите запись в списо избранных приборов при помо	ения к щи мыши			Подключаться по умолчани		

Рис. 31. Подключение к ВАЦ

4. Сбросить настройки программного обеспечения Graphit по умолчанию, для этого нажать кнопку 1

«Восстановить начальные параметры»

В панели управления «Мощность» установить параметры мощности зондирования 0 дБм, рис. 32; 5.

	ость 🔅
Старт	f
Стоп	р
Центр	<u> </u>
	0 дБм
Полоса	M
Точек	MA
Управление аттенюаторам	M
ручное	• T (2)
0 дБ	0 дБ
Аттенюаторы приёмников	(порт 1 / 2)
0 дБ	0 дБ F

Рис. 32. Установка мощности зондирования для измерения смесителя «MD616»

микран

6. В панели управления «Частота» установить частотный диапазон зондирования, рис. 33;

f	Частота	ţĈ}
Старт	4,5 ГГц	f
Стоп	20 ГГц	p fo
Центр	12,25 ГГц	
Полоса	15,5 ГГц	Ш
Точек	501	MA
Сканирован	ие по списку Выкл Список	₩
	Полный обзор	\otimes
	Нулевой обзор	F

Рис. 33. Установка частотного диапазона зондирования



7. Выбрать в главном меню Калибровка -> Мастер калибровки. Настроить мастер калибровки, рис. 34;

		авление	Диаграмма Трас		
Ra	Мастер кали	бровки	F6		
12	Метод кал	ибров	ки		
🖲 Управ	ляемая (по сценари	ию)			
🔵 Пользг	овательская (в про	оизвольног	м порядке)		
	атическая (с элект	ронным ка	алиоратором)		
ß	Настройка	конфі	игурации		
Опользуе	емые порты		@ noor 1	0.0	201
Сонфигио		AVANOTO V	CTOOLCER 2	U II	JP1 2
Condon Ab	Соединитель:	gychol o y	Калибровочный набор:		Описание набора:
Порт 1:	3,5/SMA вилка	•	HKMM-13-13P Nº2196090535	•	Соединители тип 3,5 мм
	3,5/SMA розетка	•	HKMM-13-13P Nº2196090535	Ŧ	Соединители тип 3,5 мм
Порт 2:					

Рис. 34. Настройка мастера калибровки для измерения смесителя «MD616»

 Настроить параметры преобразования частоты в мастере калибровки, рис. 35. В открывшемся диалоговом окне поля для ввода «F1» и «P1» не доступны для изменения, и содержат диапазоны частот зондирующего сигнала первого порта. Чтобы изменить эти параметры, следует закрыть мастер калибровки и вернуться к шагу 6.

В полях ввода «Fr» и «Pr» задаётся диапазон частот и мощность внешнего генератора гетеродина. Коэффициенты преобразования a, b, c, d, определяющие значение преобразованной частоты задаются в соответствии с формулой:

$$f_2=rac{a}{b}f_1+rac{c}{d}f_{\scriptscriptstyle \Gamma}+f_{\scriptscriptstyle {
m CM}}$$
 , где

f₁ – частота зондирующего сигнала и приёмников первого порта;

f₂ – частота зондирующего сигнала и приёмников второго порта;

 f_r – частота гетеродина (при отсутствии внешнего гетеродина множитель «с» задается равным нулю;

f_{см} – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;

- а множитель частоты первого порта;
- **b** делитель частоты второго порта;
- с множитель частоты гетеродина;
- d делитель частоты гетеродина.

В недоступных для изменения полях «F2» отображается диапазон преобразованных частот. В недоступном для изменения поле «P2» отображается мощность зондирования вторым портом, равная мощности зондирования первым портом плюс «Смещение мощности» для порта 2, задаваемое в окне «Конфигурация портов» (по умолчанию 0 дБ);



Рис. 35. Настройка параметров преобразования частоты в мастере калибровки

 Следуя указаниям мастера калибровки провести первые семь пунктов калибровки, рис. 36. Первые семь пунктов проводятся без использования «калибровочного» смесителя с помощью набора калибровочных мер или электронного калибратора;

🖉 Шаг 1 и	13 11 #72/37/26 Subjection & Contraction	
Порт 1 XX КЗ СН	Без смесителя	
Порт 2 	Подключите нагрузку «XX (в)» (№2251090535) на порт 1.	
Порты 1,2 Проход Порт 1 (смесит.) XX K3	С калибровочным смесителем	Мера отражения
СН Порты 1,2 (смесит.) Проход		

Рис. 36. Этапы калибровки с преобразованием частоты

10. Собрать схему для калибровки с «калибровочным» смесителем, рис. 37.



Рис. 37. Калибровка с использованием «калибровочного» смесителя:

фильтр ПЧ для опорного приёмника; 2) опорный смеситель; 3) делатель мощности; 4) генератор сигнала гетеродина;
 5) согласующий аттенюатор; 6) калибровочный смеситель; 7) фильтр ПЧ для измерительного приёмника.

11. Провести дальнейшие этапы калибровки S – параметров с использованием «калибровочного смесителя» следуя указаниям мастера калибровки. «Калибровочный» смеситель должен работать в требуемом диапазоне частот, его коэффициент преобразования SC₂₁ должен быть более минус 10 дБ, его изоляция |S₂₁| должна быть не хуже -20 дБ. «Опорный» смеситель должен работать в требуемом частотном диапазоне;





12. Заменить «калибровочный» смеситель «MD621» на измеряемый «MD616», рис. 38;

1) фильтр ПЧ для опорного приёмника; 2) опорный смеситель; 3) делитель мощности; 4) генератор сигнала гетеродина; 5) согласующий аттенюатор; 6) калибровочный смеситель; 7) фильтр ПЧ для измерительного приёмника; 8) измеряемый смеситель «MD616».

13. Создать измерительную трассу для комплексного коэффициента преобразования, рис. 39. Результаты измерения приведены на рис. 40;

		1911	14	опорн.		1./дел		-opnor	_	• yricapin		
Трс	1	И	2	Автомасштаб	A	дБ	5	Ампл лог [дВ	5]			
Трс	2	И				дБ	5	Ампл лог [да	5]			
Трс	3	И	10	Запомнить Ctrl	+R	дБ	5	Ампл лог [да	5]			
Трс	4	И	14	Сохранить Ctrl	+F	дБ	5	Ампл лог (да	5]			
П		Î	10	<u>У</u> далить [Del						*	Автомасштаб диаграммы Ctrl+Num *
	80 -			<u>И</u> змерение	•	•	<u>S</u> 11				12	Создать <u>и</u> змерительную трассу Ctrl+N
ц	50			Формат			S <u>2</u> 1				1	Создать <u>м</u> атематическую трассу Ctrl+M
)	60 -		A	Усреднение	•		S <u>1</u> 2		1		:0	Выделить все трассы Ctrl+A
1	00		Bo	Фазовая задержка			S22				۲	Маркеры
	40 -		++	Фильтрация			Приём	ники	-		-	OTHET Ctrl+P
			10	Временная область			Сопрот	гивление)		SZP	
	20 -	-	Leek	Сспажирание			Провол	MMOCTL				<u>О</u> ткрыть данные Ctrl+Y
			- 11-	сплаживание			провод	циноств			14	<u>С</u> охранить данные Ctrl+T
			TĄT	Накопление	1		Tipeoop	разование		C <u>2</u> 1	SZP	Периодическое сохранение SnP файлов
	01		A	Ограничение	٠		Измере	ение шума	•	<u>S</u> C21		
	-20-			Статистика	_	_				<u>a</u> 1c(1->2)		Создать диаграмму Закрыть диаграмму
										a2c (1->2)		Расположение диаграмм
	-40-									h2c (1->2)		Вид 🔸



Маркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позиция	4,600000 ГГц	6,000000 ГГц	8,000000 ГГц	10,000000 ГГц	12,000000 ГГц	14,000000 ГГц	16,000000 ГГц	18,000000 ГГц	20,000000 ГГц
Vector	-12,399 дБ (!)	-10,638 дБ (!)	-10,244 дБ (!)	-11,303 дБ (!)	-12,827 дБ (!)	-11,257 дБ (!)	-11,777 дБ (!)	-10,891 дБ (!)	-10,421 дБ
Vector_Phase	-16,216 ° (!)	-39,691 ° (!)	-140,156 ° (!)	138,324 ° (!)	116,912 ° (!)	-2,850 ° (!)	-100,805 ° (!)	-165,913 ° (!)	134,324 °

Рис. 40. Результаты измерения комплексного коэффициента преобразования C21 смесителя «MD616»

19979871494 🖂 integranting an 🚯 pontingan 🐛 17.003.333.05.43



Измерение частотно-преобразующих устройств

Программное обеспечение векторного анализатора цепей (ВАЦ) серии Р4213 \ Р4226 «Панорама» предоставляет пользователю возможность проводить такие измерения как:

- измерение умножителей частоты (требуется опция «СЧП»);
- измерение смесителей со скалярной калибровкой (требуется опция «СЧП»);
- измерение смесителей с векторной калибровкой (требуется опция «СПА»).

При измерении частотно-преобразующих устройств исследуемое устройство должно подключаться выходом ко второму порту ВАЦ.

Опция «СЧП» – смещение частоты приёмника, позволяет проводить измерение скалярного коэффициента преобразования SC₂₁, мощности на частотах, отличных от частоты зондирования. Возможность раздельного управления частотой зондирования и частотой приёмника, позволяет проводить измерения смесителей со скалярной калибровкой, умножителей частоты, анализировать уровень гармоник исследуемых устройств.

Опция «СПА» – переключатель опорного канала, совместно с опцией «ДПА» (прямой доступ к приёмникам), позволяет проводить измерения комплексного коэффициента преобразования С₂₁, и комплексных коэффициентов отражения от исследуемых устройств.

Ниже приведены параметры, которые позволяет измерять ВАЦ «Панорама»:

- S₁₁(f₁) комплексный коэффициент отражения на частоте зондирования f₁ при зондировании портом 1 на частоте f₁;
- S₂₁(f₁) комплексный коэффициент передачи на частоте зондирования f₁ при зондировании портом 1 на частоте f₁;
- S₁₂(f₂) комплексный коэффициент передачи на частоте зондирования f₂ при зондировании портом 2 на частоте f₂;
- S₂₂(f₂) комплексный коэффициент отражения на частоте зондирования f₂ при зондировании портом 2 на частоте f₂;
- b2c(f₂) мощность измерительного приёмника второго порта, измеренная на частоте f₂ при зондировании портом 1 на частоте f₁;
- SC₂₁ скалярный коэффициент преобразования, вычисляется как отношение b2C(f₂) к мощности, поступающей на исследуемое устройство на частоте f₁;
- С₂₁ комплексный коэффициент преобразования (необходимо проведение векторной калибровки, наличие опции «СПА»);
- ГВЗ групповое время запаздывания (необходимо проведение векторной калибровки).



Измерение умножителей частоты

Умножитель частоты – устройство, в котором на вход подается сигнал с частотой f_1 , а на выходе формируется сигнал с частотой $f_2 = N \cdot f_1$, где N – это целое число.

Схемы измерения умножителей частоты



Рис. 1а. Схема измерения умножителей частоты с помощью ВАЦ «Панорама»



Рис. 16. Схема измерения умножителей частоты с дополнительным усилением зондирующего сигнала



Рис. 1в. Схема измерения умножителей частоты с дополнительным усилением/ослаблением сигнала с возможностью измерения коэффициентов отражения: 1 – усилитель; 2 – умножитель частоты.

Параметры, которые схемы позволяют измерить: SC₂₁; b2c; S₁₁ (для схем на рис. 1а и 1в); S₂₂; коэффициент преобразования на 1, 2, 3...N гармониках зондирующего сигнала.

Устройства и опции, необходимые для проведения измерения: ВАЦ «Панорама» с опцией «СЧП» (с опцией «ДПА» для схемы, рис. 1в); измеритель мощности; набор калибровочных мер или электронный калибратор; кабельные сборки.

Калибровки, необходимые для проведения измерения: две однопортовые калибровки S-параметров; калибровка выходной мощности первого порта; калибровка приёмника второго порта, если измеряемое устройство не подключено напрямую к порту.

Схема на рис. 16 не позволяет измерить коэффициент отражения S₁₁ так как в схеме используется усилитель, который значительно ослабляет сигнал, отраженный от входного порта умножителя за счет развязки.

Опция «ДПА» предоставляет пользователю прямой доступ к СВЧ-входам приемников и СВЧ-выходам генератора.

ПРИМЕЧАНИЕ Применяя схему измерения на рис. 1в, необходимо помнить о том, что приёмники ВАЦ должны находиться в линейном режиме работы и при необходимости устанавливать аттенюаторы.

Измерение коэффициента преобразования умножителя

Пример 1.

Проведем измерение коэффициента преобразования (**SC**₂₁) и коэффициента отражения от первого порта (**S**₁₁) умножителя частоты «MD701» производства компании «Микран». Частотный диапазон входного сигнала (RF) = 6...13 ГГц, выходного сигнала (f₂) = 12...26 ГГц. Мощность зондирования 15 дБм. Технические характеристики устройства приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики умножителя частоты «MD701»

	Р _{вх} = 10 дБм	Р _{вх} = 12 дБм	Р _{вх} = 15 дБм
Диапазон входных частот, ГГц		613	
Диапазон выходных частот, ГГц		1226	
Потери преобразования, дБ	16	14	12

Исходя из данных в таблице 1, необходимо обеспечить уровень входного сигнала 15 дБм, чтобы добиться наименьших потерь преобразования. ВАЦ «Панорама» не может обеспечить необходимый уровень сигнала, значит необходимо использовать дополнительный усилитель. В качестве дополнительного усилителя используем «LNA 20» производства компании «Микран», коэффициент усиления (КУ) = 25 дБ, частотный диапазон работы усилителя 10 МГц...26,5 ГГц.

Для измерения коэффициента отражения от входного порта умножителя необходимо использовать ВАЦ «Панорама» с опцией «ДПА», т.к. необходим прямой доступ к тракту генератора ВАЦ. Усилитель необходимо установить между портами «Генератор выход» и «Генератор вход». Схема для измерения представлена на рис. 2.



Рис. 2. Схема измерения умножителя «МD701» с усилением зондирующего сигнала: 1) умножитель «MD701»; 2) усилитель «LNA 20».



- 1. Подготовьте ВАЦ к работе;
- 2. Запустить программное обеспечение Graphit;
- 3. Осуществить подключение к прибору (рис. 3);

Описание	Алоес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние		
P4M-18/3 1102170230	r4m-18-1102170230.tetz	P4M-18/3	1102170230	Своболен	🛉 В избранное	
P4M-18 1102080016	r4m-18-1102080016.tetz	P4M-18	1102080016	Занят		
P4M-18 1102099999	r4m-18-1102099999.tetz	P4M-18	1102099999	Занят		
P4213/4 1132190048	r4213-1132190048.tetz	P4213/4	1132190048	Занят	Повторить поиск	
P4213/6 1132190055	r4213-1132190055.tetz	P4213/6	1132190055	Занят		
P4226/5 1133180038	r4226-1133180038.tetz	P4226/5	1133180038	Свободен	Все приборы	
P4226A 1133190021	r4226-1133190021.tetz	P4226A	1133190021	Свободен		
R4226 1133150001	r4226-1133150001.tetz	R4226	1133150001	Занят		
	Выберите прибор для подключе или перетащите запись в списо избранных приборов при помо	ения к щи мыши			Подключаться по умолчании	

Рис. 3. Подключение к ВАЦ

4. Сбросить настройки программного обеспечения Graphit по умолчанию, для этого нажать кнопку 100

«Восстановить начальные параметры»

5. В панели управления «Мощность» установить параметры мощности зондирования – 10 дБм, т.к. используется усилитель с КУ = 25 дБ (рис. 4).

ПРИМЕЧАНИЕ При установке мощности зондирования необходимо учитывать, что приёмники ВАЦ должны находиться в линейном режиме работы и устанавливать внутренние / внешние аттенюаторы.

р Мощное	сть
Старт	
Стоп	
Центр	- <mark>10</mark> дБм
Полоса	
Точек	
Управление аттенюаторами ручное	Ţ
Аттенюатор генератора (пор	от 1 / 2)
0 дБ	0 дБ
Аттенюаторы приёмников (п	юрт 1 / 2)
0 дБ	0 дБ

Рис. 4. Установка мощности зондирования

- микран
 - 6. Установить частотный диапазон для калибровки выходной мощности ВАЦ. **Частотный диапазон при калибровке должен включать в себя весь частотный диапазон работы умножителя**. В нашем примере диапазон калибровки 6...26 ГГц (рис. 5).

f yac	стота
Старт	6 ГГц
Стоп	26 ГГц
Центр	16 ГГц
Полоса	20 ГГц
Точек	501
Сканирование по списку	Список
Полный	обзор
∘∞∞тНулевой	обзор

Рис. 5. Установка частотного диапазона для калибровки выходной мощности

7. Собрать схему для проведения калибровки выходной мощности (рис. 6). В качестве эталонного измерителя мощности используем «PLS26» производства компании «Микран».

0	Пикран	ПАНОРАМА Анализатор целей векторный Риззб	- -
		NIM TEHENTOP OTOPH PO PO PO PO PO PO PO PO PO PO	
			ROPT 2
8		b, or the state of	A Transfer A Transfer
		Измеритель мощности	

Рис. 6. Схема для калибровки выходной мощности ВАЦ: 1) ВАЦ «Панорама»; 2) эталонный измеритель мощности «PLS26»; 3) усилитель «LNA20».

8. Выбрать в главном меню Калибровка -> Калибровка мощности -> Коррекция выходной мощности. В окне «Коррекция выходной мощности», в разделе «Измеритель мощности» нажать кнопку «Подключить». Выбрать необходимый измеритель мощности из списка. Смещение задать равным КУ усилителя, используемого в схеме (в нашем примере 25 дБ). Если в схеме не используется усилитель смещение задать равным нулю. Нажать кнопку «Калибровка», дождаться окончания калибровки (рис. 7). После проведения калибровки выходная мощность ВАЦ будет скорректирована с учетом КУ используемого усилителя.

<u>Ф</u> айл	<u>К</u> алибровка	Управление	Диаграмма	Tpacca	Маркер	Профиль	<u>В</u> ид	<u>С</u> правка	
	洚 <u>М</u> астер	калибровки		F6	-	Измерение	-	10 10 I	1
	<u>О</u> тключи	ить коррекцию						100	
	Калибро	вка мощности		•	Коррек	ция <u>в</u> ыходн	ой мо	щности	1

Параметры выходной моц	цности		Измеритель мощности
	TIOPT 1	TOPT 2	Статус: подключен
Значение на выходе:	15 дБм 🔺 🕨	-10 дБм 🗼 >	Информация: Micran, PLS26, 1131190099, В.6.0
Смещение:	25 дБ 🔶 🛉	0 дБ 🔹 🕨	
Коррекция:	Включена	Включена	
3	Калибровка	Калибровка	2
Допустимое отклонение	мощности:	0,5 дБ 🗼 🗼	Отключить

Рис. 7. Проведение калибровки выходной мощности ВАЦ

 Соединить порты ВАЦ между собой. Провести калибровку приёмника второго порта в выходном частотном диапазоне умножителя (12...26 ГГц). Выбрать в главном меню Калибровка -> Калибровка мощности -> Коррекция приёмников. В окне «Коррекция приёмников» нажать кнопку «Калибровка». Дождаться окончания калибровки (рис. 8).



Рис. 8. Проведение калибровки приёмника второго порта ВАЦ

10. Выбрать в главном меню *Калибровка -> Мастер калибровки*. Провести однопортовую SOLT калибровку первого порта во входном диапазоне рабочих частот умножителя, следуя указаниям мастера калибровки, рис. 9.

	Калибровка	<u>у</u> правление	Диаграмма Трасс		
	<u>О</u> тключі	калиоровки ить коррекции	0 0		
Іспол	ьзуемые порты				
🗇 пор	оты 1, 2		🔘 порт 1	ino ino	DT 2
Конфи	гурация портов	исследуемого у	/стройства		
	Соединител	ь:	Калибровочный набор:		Описание набора:
Порт 3	L: 3,5/SMA вил	пка 💌	HKMM-13-13P №219609053	35 💌	Соединители тип 3,5 мм
Порт 🕽	2: 3,5/SMA ви	лка 💌	HKMM-13-13P №219609053	35 💌	Соединители тип 3,5 мм
ß	⁾ Шаг 1 и	з 3	Список калибровочн	ых наборов	
орт 1 - Х - К) Шаг 1 и х з н	з 3	Список калибровочн	ых наборов	

Рис. 9. SOLT калибровка первого порта

11. Выбрать в главном меню Калибровка -> Мастер калибровки. Провести однопортовую SOLT калибровку второго порта в выходном диапазоне рабочих частот умножителя, следуя указаниям мастера калибровки, рис. 10.

Мастер калибровки F6 Отключить коррекцию спользуеные порты порты 1, 2 онфигурация портов исследуеного устройства соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: орт 1: 3,5/SMA вилка иорт 2: 3,5/SMA вилка Исписок калибровочных наборов Список калибровочных наборов Отисание набора Описание набора Описание набора Описание набора Описание набора Описание набора Список калибровочных наборов У <	айл !	<u>К</u> алибровка	<u>У</u> правление	е Диаграмма Трасс	
Отключить коррекцию Используемые порты порты 1, 2 порт 1 ⊙порт 2 Конфигурация портов исследуемого устройства Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13P №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13P №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3 2007 2 ХХ		洛 Мастер	калибровки	. F6	
Используеные порты порты 1, 2 порт 1 @порт 2 Конфигурация портов исследуеного устройства Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13P №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 нм Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13P №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 нм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3 ФГ 2 ХХ		Отключи	ть коррекци	ю	
© порты 1, 2 © порт 1	Использ	зуемые порты			
Конфигурация портов исследуемого устройства Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13P №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13P №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3 207 2 ХХ	🔿 порт	ъ 1, 2		🔘 порт 1	О порт 2
Соединитель: Калибровочный набор: Описание набора: Порт 1: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3 орт 2 ХХ	Конфиг	урация портов	исследуемого	устройства	
Порт 1: 3,5/SMA вилка		Соединител	ь:	Калибровочный набор:	Описание набора:
Порт 2: 3,5/SMA вилка ▼ НКММ-13-13Р №2196090535 ▼ Соединители тип 3,5 мм Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3	Порт 1:	3,5/SMA вил	тка 💌	HKMM-13-13P Nº2196090535	Соединители тип 3,5 мм
Список калибровочных наборов Шаг 1 из 3					
ури 1 из 3	IOPT 2:	3,5/SMA вил	тка 🔻	HKMM-13-13P Nº2196090535	 Соединители тип 3,5 мм
201	юрт 2:	3,5/SMA вил	ika 💌	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на	 Соединители тип 3,5 мм боров
	юрт 2: 	Шаг 1 и	ika ▼ 3 3	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на	боров
	юрт 2: 	Цаг 1 и.	33 33	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на	боров
Подключите нагрузку «XX (в)» (№2251090535) на порт 2.	юрт 2:	З,5/SMA вил	а 3 3 чите нагрузку	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на «ХХ (в)» (№2251090535) на поот 2.	боров
Подключите нагрузку «XX (в)» (№2251090535) на порт 2.	юрт 2: орт 2 ХХ СН	(3,5/SMA вил Шаг 1 и.	ка ▼ 3 3	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на «ХХ (в)» (№2251090535) на порт 2.	• Соединители тип 3,5 мм юборов
Подключите нагрузку «XX (в)» (№2251090535) на порт 2.	юрт 2:	3,5/SMA вил Шаг 1 и.	ка ▼ 3 3	НКММ-13-13Р №2196090535 Список калибровочных на «ХХ (в)» (№2251090535) на порт 2.	• Соединители тип 3,5 мм боров

Рис. 10. SOLT калибровка второго порта



12. В панели управления «Преобразование частоты» установить множитель частоты в соответствии с коэффициентом умножения исследуемого умножителя по формуле, приведенной ниже.

$$f_2 = \frac{a}{b}f_1 + \frac{c}{d}f_{\Gamma} + f_{\rm CM} ,$$

где f₁ – частота зондирующего сигнала и приёмников первого порта;

f₂ – частота зондирующего сигнала и приёмников второго порта;

f_r – частота гетеродина (при отсутствии внешнего гетеродина множитель «с» задается равным нулю;

f_{см} – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;

- а множитель частоты первого порта;
- **b** делитель частоты второго порта;
- с множитель частоты гетеродина;
- d делитель частоты гетеродина.

В случае измерения умножителей частоты, которые характеризуются формулой $f_2 = N \cdot f_1$, коэффициент a – является множителем N для f_1 . Изменяя коэффициент a можно измерить уровень прохождения 2, 3, 4 и т.д. гармоник через умножитель. При измерении не используется гетеродин, множитель частоты гетеродина c устанавливается равным нулю. Дополнительное смещение так же не задается, $f_{cm} = 0$.

В нашем примере коэффициент умножения равен 2, гетеродин не используется, рис. 11.

Преобразован	ние частоты
Преобразование	вкл
Векторная коррекция	Выкл
Множитель/делитель част	готы Р4
2	1
Старт гетеродина	0 Гц
Стоп гетеродина	0 Гц
Множитель/делитель част	готы гетеродина
0	1
Смещение	0 Гц
Старт/стоп ПЧ	
12 ГГц	26 ГГц
Отображать частоты приёмника	¥

Рис. 11. Настройка преобразования частоты

13. Создать измерительную трассу для коэффициента преобразования SC₂₁, рис. 12.

<u>Ф</u> айл	<u>К</u> али 2 2	бровка Управление Диагр Свч 🏠 🏠 🕜 М Свч	<u>Трасса Маркер Профиль Вид Справка</u> КП [дБ] • SC21 • \$ 90 % © Ξ ≡ • ≡ • ₩ 5% • ₩ • @	
Имя	Tpc1	Тип Кнл/Изм. Опор И SC21 0дБ	E_A_/B_A 0_pret 0_pret 0_pret 0_pret 0_pret >> 10.6 0_marmKT	6 22
0 дБм			Автомасштаб A Запомнить Ctrl+R	ين f
10 KFL	40		Созданить. Ситит ≫с. Автомасшитаю диаграмны Ситиништ - вкл удалить Del & Создать узмерительную трассу Ситини Векторная коррекция Векторная коррекция Векторная коррекция	p
	30		Формат S21 Выделить все трассы Ctrl+A Множитель/делитель частоть Р4 Усреднение S12 Маркеры 2 1	
	10		Фазовая задержка 522 ФИЛьтрация Приённики Фольтрация Старт гетеродина Старт стеродина Старт стеродина Старт стеродина	
	0		Сплаживение Проводимость Сста накопление Проводимость Сста накопление Сста Сслаживение SnP файлов Сста Стоп гетеродина Стоп гетеродин	M
	-10		Ограничение → Измерение шума → • <u>5</u> C21 Закрыть диаграмму Множитель/делитель частоты гетеродина Статистика аlc(1-2) Вакрыть диаграмм 0 1	~
	-20		<u>ріс (1->2)</u> а2 <u>с</u> (1->2) b/2 (1->2)	\otimes
	-30		Старт/стоп ПЧ 12 ГГц 26 ГГц	P
	-40		Отображать частоты приёмника	
	12 [Тц 📕	F->[F*] 501 19 ITu 14 ITu 26 ITu	Ø
84226/	8 113318	80005 r4226-1133180005.tet	Тодключен ОГ ВНУТР С/ВХ - C/BЫХ - T=37*C 139 мс	

Рис. 12. Создание измерительной трассы для коэффициента преобразования SC21

14. В панели управления «Преобразование частоты» можно задавать отображаемый диапазон частот путем выбора в окне «Отображать частоты». Измерение S₁₁ проводим во входном частотном диапазоне работы умножителя (6...13 ГГц), отображаем частоту зондирования, а S₂₂ и SC₂₁ в выходном частотном диапазоне работы умножителя (12...26 ГГц), отображаем частоты приёмника. Результат измерения приведен на рис. 13 и рис. 14.

В 4226/3	KPAH 1133180005, G	raphit 2.5.27			М	D701				26.09.2019 15:16:32
MD701										
	Tpc3_I1	SC	21 Mo	одуль КП [дБ]	Оп 4 д	Б	3 дБ/дел	Поз 5	Tpc3 [14:52:42	2, 26.09.2019] Crn1
	Трс4_П1	S2	22 A	мпл лог [дБ]	Оп 4 д	Б	3 дБ/дел	Поз 5	Tpc4 [14:52:46	i, 26.09.2019] Сгл2
0 <u>дБм</u> ФПЧ 1 кГц 511 ОП 522 ОП(!) КВМ1 (!)										
	-5-									
	-8-	1 2		3 4		5	6 7		8 9	10
1	2 ГГЦ 🔲 🔲		F->[F*]	501		19 ГГц		14 ГГц		26 FF
Иаркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Позиция	13,000000 ГГц	14,000000 ГГц	16,000000 ГГц	17,000000 ГГц	19,000000 ГГц	20,000000 FFu	21,000000 ГГц	23,000000 ГГц	24,000000 FFL	1 25,000000 ГГЦ
Трс3_П1	13,273 дБ (!)	13,592 дБ (!)	12,399 дБ (!)	12,847 дБ (!)	11,325 дБ	11,329 дБ (!)	11,658 дБ (!)	11,813 дБ (!)	10,802 дБ (!)	10,044 дБ (!)
Трс4_П1	-3,190 дБ (!)	-3,702 дБ (!)	-2,695 дБ (!)	-5,142 дБ (!)	-4,714 дБ	-4,467 дБ (!)	-3,831 дБ (!)	-3,643 дБ (!)	-3,731 дБ (!)	-3,711 дБ (!)

Рис. 13. Результаты измерения. Коэффициент преобразования SC21, коэффициент отражения S22.



аркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
озиция	6,500000 ГГц	7,000000 ГГц	8,000000 ГГц	8,500000 ГГц	9,000000 ГГц	10,000000 ГГц	10,500000 ГГц	11,000000 ГГц	12,000000 ГГц	12,500000 ГГц
ic1_∏1	-10,779 дБ (!)	-10,693 дБ (!)	-10,234 дБ (!)	-10,096 дБ (!)	-11,043 дБ (!)	-17,340 дБ (!)	-21,751 дБ (!)	-22,001 дБ (!)	-14,938 дБ (!)	-13,838 дБ (!)

Рис. 14. Результаты измерения. Коэффициент отражения S₁₁.

II JPC WITH Consequences in a province to a constant and the consequences of the constant and the constant a

Измерение смесителей

Векторный анализатор цепей (ВАЦ) Р4226А «Панорама» позволяет проводить измерение коэффициента преобразования смесителей со скалярной и векторной калибровкой.

При измерении смесителей необходимо использовать внешний генератор сигнала гетеродина. Необходимо соединить входы и выходы синхронизации генератора и ВАЦ для синхронной перестройки по частоте, рис 15. Также необходимо соединить выход опорного сигнала генератора и вход опорного сигнала ВАЦ.

ПРИМЕЧАНИЕ Использование общей опорной частоты ВАЦ и генератора является обязательным условием для корректных измерений.



Рис. 15. Синхронизация ВАЦ и гетеродина

В качестве генератора сигнала гетеродина в данной инструкции используются приборы производства компании «Микран» серии «Г7М», «PLG», «P2M».



Схемы измерения смесителей со скалярной калибровкой

Рис. 16а. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина со скалярной калибровкой: 1) смеситель; 2) генератор сигнала гетеродина.



Рис. 16б. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина со скалярной калибровкой, дополнительным усилением зондирующего сигнала: 1) смеситель; 2) генератор сигнала гетеродина; 3) усилитель.

МИКРАН



Рис. 16в. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина со скалярной калибровкой, дополнительным усилением зондирующего сигнала с возможностью измерения коэффициента отражения: 1) усилитель; 2) смеситель; 3) генератор сигнала гетеродина.

Параметры, которые схема позволяет измерить: SC₂₁; b2c; S₂₂; коэффициент преобразования на произвольной ПЧ; S₁₁, S₁₂, S₂₁, для схем на рис. 16а и 16в.

Устройства и опции, необходимые для проведения измерения: ВАЦ «Панорама» с опцией «СЧП» (с опцией «ДПА» для схемы на рис. 16в); измеритель мощности; калибровочный набор или электронный калибратор; кабельные сборки.

Калибровки, необходимые для проведения измерения: двухпортовая калибровка S-параметров; калибровка выходной мощности первого порта; калибровка приёмника второго порта, если измеряемое устройство не подключено напрямую к порту.

Схема на рис. 16б не позволяет измерить коэффициент отражения S₁₁ так как в схеме используется усилитель, который значительно ослабляет сигнал, отраженный от входного порта умножителя за счет развязки.

Опция «ДПА» предоставляет пользователю прямой доступ к СВЧ-входам приемников и СВЧ – выходам генератора.

<u>ПРИМЕЧАНИЕ</u> Применяя схему измерения на рис. 16в, необходимо помнить о том, что приёмники ВАЦ должны находиться в линейном режиме работы и при необходимости устанавливать аттенюаторы. Подробнее об уровнях входного сигнала можно узнать в инструкции по применению ВАЦ Р4212/Р4226 «Панорама» Опция «ДПА», которую можно скачать на сайте www.micran.ru.

Пример 2.

Проведем измерение коэффициента преобразования SC₂₁, коэффициенты отражения S₁₁, S₂₂, развязку S₂₁ смесителя «MD621» производства компании «Микран» со скалярной калибровкой. Характеристики устройства приведены в таблице 2. Частотный диапазон входного сигнала (**RF**) = 3,05...20 ГГц, сигнала гетеродина (**LO**) = 3...19,95 ГГц, промежуточная частота (**IF**) = 50 МГц. Мощность зондирования 0 дБм.

Таблица 2. Технические характеристики смесителя «MD621»

Диапазон частот, ГГц	36	610	1017	1726
Потери преобразования, CL *, дБ	13	8	10	13
Сжатие на 1 дБ по входу, Р1 *, дБм	10	12	12	13
Интермодуляция третьего порядка, IIP3 **, дБм	20	16	20	22
Возвратные потери по входу RF, RL _{RF} *, дБ	5	6	6	5
Возвратные потери по входу LO, RL _{LO} *, дБ	5	6	5	5
Изоляция LO-RF, дБн	35	35	35	30
Изоляция RF-IF, дБн	15	20	20	20
Изоляция LO-IF, дБн	18	20	25	25

Для измерения параметров смесителя будем использовать схему, приведенную на рис. 17.



Рис. 17. Схема измерения смесителя «MD621» со скалярной калибровкой: 1) смеситель «MD621»; 2) генератор сигнала гетеродина.

В качестве источника сигнала гетеродина и эталонного измерителя мощности используем синтезатор частот серии «Г7М-20» и измеритель мощности «PLS26» производства компании «Микран» соответственно.



- 1. Подготовить ВАЦ к работе;
- Запустить программное обеспечение Graphit; 2.
- 3. Осуществить подключение к прибору, рис. 18;

Описание	- D.us6nauusa							
P4M-18/3 1102170230	r4m-18-1102170230.tetz	P4M-18/3	1102170230	Свободен	в изоранное			
P4M-18 1102080016	r4m-18-1102080016.tetz	P4M-18	1102080016	Занят				
P4M-18 1102099999	r4m-18-1102099999.tetz	P4M-18	1102099999	Занят				
P4213/4 1132190048	r4213-1132190048.tetz	P4213/4	P4213/4	P4213/4	P4213/4	1132190048	Занят	Повторить поиск
P4213/6 1132190055	r4213-1132190055.tetz	5 r4213-1132190055.tetz	132190055 r4213-1132190055.tetz		13/6 1132190055	Занят		
P4226/5 1133180038	r4226-1133180038.tetz	P4226/5	1133180038	Свободен	Все приборы			
P4226A 1133190021	r4226-1133190021.tetz	P4226A	1133190021	Свободен				
R4226 1133150001	r4226-1133150001.tetz	R4226	1133150001	Занят				
	Выберите прибор для подключи или перетащите запись в списо избранных приборов при помо	ения к щи мыши			Подключаться по умолчании			

Рис. 18. Подключение к ВАЦ

4. Сбросить настройки программного обеспечения Graphit по умолчанию, для этого нажать кнопку 10 Part

«Восстановить начальные параметры»

5. В панели управления «Мощность» установить параметры мощности зондирования 0 дБм, рис. 19;

Р Мощнос	сть	ŝ
Старт		f
Cron		p
Центр		Q
	0 дБм	0
Полоса		Ш
Точек		MA
Управление аттенюаторами ручное		₩G
Аттенюатор генератора (пор	• or 1 / 2)	~ ~ ~
0 дБ	0 дБ	\otimes
Аттенюаторы приёмников (п	орт 1 / 2)	Ŷ
0 дБ	0 дБ	

Рис. 19. Установка мощности зондирования для измерения смесителя «MD621»

6. Выбрать в главном меню *Калибровка -> Мастер калибровки*. Провести двухпортовую SOLT калибровку в частотном диапазоне, **включающем в себя весь рабочий диапазон смесителя**, рис. 20. В нашем случае частотный диапазон для проведения калибровки 50 МГц...20 ГГц;

			G P4. Векторный анализ	затор цепей [Emulator] - Graphit 2.5		
f	Частота	<u>{</u>	Файл Калибровка у Мастер ка.	правление либровки	Диаграмма <u>Т</u> расс F6		
Старт	50 МГц	f	Отключите	ь коррекцию	I		
Стоп	20 ГГц	p	порты 1, 2 Конфигурация портов ис Соорницаторы	следуемого ус	© порт 1 тройства Кальборгонный изборг	🔘 порт	2
Центр	10,025 ГГц	Q O	Порт 1: 3,5/SMA вилка Порт 2: 3,5/SMA розет	a 🔻	HKMM-13-13P №2196090535	- (Соединители тип 3,5 мм Соединители тип 3,5 мм
Полоса	19,95 ГГц				Список калибровочных на	боров	
Точек	501	MA	🌽 Шаг 1 из	7			
-Сканиров	зание по списку Выкл Список Полный обзор	₩	Порт 1 — XX — K3 — CH Порт 2 — XX				
	Нулевой обзор	\bigotimes	— КЗ — СН Порты 1,2 — Проход	ючите нагруз	ку «XX (в)» (№2251090535) на по	рт 1.	Мера отражения

Рис. 20. Установка частотного диапазона и проведение калибровки S-параметров для измерения смесителя «MD621»

7. Подключить эталонный измеритель мощности к первому порту ВАЦ в плоскости калибровки S-параметров, рис. 21;



Рис. 21. Подключение измерителя мощности к ВАЦ

8. Провести калибровку выходной мощности ВАЦ в частотном диапазоне, включающем в себя входные и выходные частоты смесителя (50 МГц...20 ГГц), рис. 22;

<u>Ф</u> айл	<u>К</u> алибровка	Иправление Ди	иаграмма Трасс	а <u>М</u> аркер <u>Профиль В</u> ид <u>С</u> правка
] 👜	Мастер ка Отключит	либровки ь коррекцию	F6	· 1 · 50 %
	Калибровн	ка мощности	•	Коррекция выходной мощности
[]] [🔏 Информац	ция о калибровк	ax Alt+F6	Коррекция приёмников
Парамет	тры выходной мош	ности ПОРТ 1	NOPT 2	Измеритель мощности Статус: подключен
Значен Смещен	ие на выходе: ние:	0 дБм 🗇 > 0 дБ 🗘 >	0 дБм 🔹 > 0 дБ 🔹 •	Информация: <i>Micran, PLS26, 1131180008, С. 1. 3</i>
Коррек	сция: (3)	Включена Калибровка	Включена Калибровка	(2)
Допуст	гимое отклонение и	мощности:	0,5 дБ 🔶 🕨	Отключить
				ОК Отмена

Рис. 22. Проведение калибровки выходной мощности для измерения смесителя «MD621»

- 9. Собрать измерительную схему, изображенную на рис. 17;
- 10. В панели управления «Преобразования частоты» задать параметры гетеродина, рис. 23;

Ф Преобразова	ание частоты	ţ
Преобразование	ВКЛ	f
Векторная коррекция		p
Множитель/делитель ча	стоты Р4	Q
1	1	0
Старт гетеродина	З ГГц	Ш
Стоп гетеродина	19,95 ГГц	MA
Множитель/делитель час -1	стоты гетеродина 1	₩¢
Смещение	<mark>0</mark> Гц	<u>≁</u> ∧
Старт/стоп ПЧ		V
50 МГц	50 МГц	P
Отображать частоты ЗОНДИРОВАНИЯ	+	×۲¢

Рис. 23. Задание параметров преобразования частоты

Синхрон	низация	ŝ
Синхровход начало измерения	Ţ	f
Инверсия синхровхода	Выкл	p
Синхровыход		2
След. точка	•	0
таррони старовалода	Выкл	Ш
Длительность импульса	а 10 мкс	MA
Синхроген. (высокий/низк	кий уровень)	MAS
100 нс	900 нс	
Опорный генератор	Learning Commission	~T~
автовыбор 👻	10 MFų	\otimes
Дополнител	тьно	

Рис. 24. Настройка генератора сигнала гетеродина

Ø	Управление	¢+ ×
Режим р	аботы:	
Сканиро	вание по частоте	•
Режим за	апуска:	
Внешний	i	-
Момент з	апуска:	
Следую	цая точка	•
Время уд	ержания точки:	
10	•	мкс 🔻
f	Частота	r+ ×
p	Мощность	⊈- X
C	Синхронизация	⊈- ×
0		d- V

О уг	правление 🕂 🛩
f	Частота 🗣 🗙
Тип развертки Оинейный	🔘 Логарифмический
Старт:	
3 000	🗧 🖬 МГц 🔻
Стоп:	
19,95	🗧 🖬 МГц 🔻
Центр:	
1 509,975	🗧 🖬 МГц 🔫
Полоса:	
2 980,05	🗧 🖬 МГц 🔫
Количество точек	:
501	
Γο	пный диапазон
p N	Лощность ⊄- ×
Син	хронизация 🕂 ×
Опоре	ный генератор 🛛 🕂 🗙

Ø	Управ.	ление		4	+ x
f	Част	ота		-	-×
p	Мощн	юсть		4	⊦×
2	Синхрон	изаци	я	4	⊦×
Режим с	инхровыхода:				
Захват Ф	АПЧ/АРМ				•
🕅 Инвер	тировать синх;	оовыход			
Длителы	ность сигнала о	инхров	ыхода	ə:	
10		4 4		мкс	•
Парамет	ры синхрогене;	ратора:			-
Длителы	ность импульса	lt.			
20		415	a	HC	Ŧ
Период г	товторения им	пульса:			
the property of the party of th		1000			
30		A	圖	HC	
30 🕅 Инвер	тировать синхр	овход		HC	*
30 П Инвер	тировать синхр ее управление	овход мощное	тью	HC	-
30 П Инвер Внешн	тировать синхр ее управление Опорный і	оовход мощноо генера	тор	HC	+ ×
30 Инвер Внешн О Внешн	тировать синхр ее управление Опорный г ий опорный ге	оовход мощноо генера нератор	стью тор	HC	+ ×
30 Мнвер Внешн О Внешн 10 МГц	тировать синхр ее управление Опорный ге иий опорный ге	оовход мощноо генера нератор	тор	HC	+ ×
30 Инвер Внешн О Внешн 10 МГц Смещени	тировать синхр нее управление Опорный г ий опорный ге не фазы выходн	оовход мощноо генера нератор	тор	HC	+ ×

Рис. 25. Настройка синхронизации генератора «Г7М-20»

12. Создать измерительную трассу для коэффициента преобразования SC₂₁, рис. 26;



Рис. 26. Создание измерительной трассы для коэффициента преобразования SC21

13. Результаты измерения представлены на рис. 27;



Маркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позиция	4,000000 ГГц	6,000000 ГГц	8,000000 ГГц	10,000000 ГГц	12,000000 ГГц	14,000000 ГГц	16,000000 ГГц	18,000000 ГГц	20,000000 ГГц
Преобразование SC21	-10,67 дБ (!)	-8,25 дБ (!)	-6,289 дБ (!)	-6,331 дБ (!)	-7,209 дБ (!)	-8,162 дБ (!)	-8,618 дБ (!)	-8,649 дБ (!)	-8,639 дБ
Развязка S21	-23,01 дБ (!)	-25,81 дБ (!)	-20,813 дБ (!)	-24,709 дБ (!)	-35,894 дБ (!)	-41,877 дБ (!)	-45,211 дБ (!)	-35,140 дБ (!)	-38,268 дБ
КО от вторго порта S22	-7,23 дБ (!)	-9,13 дБ (!)	-18,061 дБ (!)	-24,022 дБ (!)	-17,073 дБ (!)	-24,321 дБ (!)	-17,915 дБ (!)	-17,082 дБ (!)	-18,250 дБ
КО от первого порта S11	-2,64 дБ (!)	-3,98 дБ (!)	-13,585 дБ (!)	-23,722 дБ (!)	-10,706 дБ (!)	-8,681 дБ (!)	-5,873 дБ (!)	-7,714 дБ (!)	-8,873 дБ

Рис. 27. Результат измерения смесителя «MD621» со скалярной калибровкой



Схема измерения смесителей с векторной калибровкой

Рис 28. Схема измерения смесителей с использованием внешнего гетеродина с векторной калибровкой: 1) фильтр ПЧ для опорного приёмника; 2) опорный смеситель; 3) делитель мощности; 4) генератор сигнала гетеродина; 5) согласующий аттенюатор; 6) калибровочный/исследуемый смеситель; 7) фильтр ПЧ для измерительного приёмника.

Параметры, которые схема позволяет измерить: C₂₁; b2c; ГВЗ; S₁₁; S₂₂; коэффициент преобразования на произвольной ПЧ.

Устройства и опции, необходимые для проведения измерения: ВАЦ «Панорама» с опцией «СПА»; внешний генератор сигнала гетеродина (Г7М, Р2М, РLG, либо другие в неуправляемом режиме); два дополнительных смесителя – «опорный» и «калибровочный»; аттенюатор (ослабление 3...10 дБ) для улучшения согласования первого порта; фильтр, пропускающий преобразованный сигнал промежуточной частоты и подавляющий паразитные сигналы; калибровочный набор или электронный калибратор; набор кабельных сборок.

Разность фаз коэффициента передачи S₂₁ некоторой цепи – это разность фаз гармонического сигнала на входе и на выходе цепи. В случае измерения разности фаз между сигналами до преобразования и после преобразования (на разных частотах) будем обозначать понятие «фаза» в кавычках.

Наклон «ФЧХ» C₂₁(f) – зависимость «фазы» C₂₁ от частоты, имеет физический смысл. Также как наклон ФЧХ S₂₁(f), он пропорционален групповому времени задержки (ГВЗ).

Физический смысл коэффициента преобразования С₂₁ появляется при возведении его в квадрат, т.е. при повторном прохождении сигнала через смеситель и преобразовании на частоту f₁. Например, если к выходу смесителя подключить идеальную отражающую нагрузку (с нулевой задержкой и коэффициентом отражения) или с помощью такого же смесителя выполнить обратное преобразование частоты f₂ и f₁, как показано на рис. 29.



Рис 29. Преобразование через смеситель

Изменение фазы сигнала, дважды прошедшего через смеситель, равно удвоенной «фазе» коэффициента преобразования С₂₁:

$$\Delta \phi = 2 \cdot \operatorname{Arg}(C_{21}).$$

// DECIMITATION 🖾 integration on 🕼 protein.com

Пример 3.

Проведем измерение комплексного коэффициента преобразования С₂₁ смесителя «MD621» производства компании «Микран». Характеристики устройства приведены в таблице 3. Частотный диапазон входного сигнала (**RF**) = 4,5...20 ГГц, сигнала гетеродина (**LO**) = 3,6...19,1 ГГц, промежуточная частота (**IF**) = 900 МГц. Мощность зондирования 0 дБм.

Таблица 3. Технические характеристики смесителя «MD616».

Диапазон частот, ГГц	36	610	1017	1726
Потери преобразования, CL *, дБ	13	8	10	13
Сжатие на 1 дБ по входу, Р1 *, дБм	10	12	12	13
Интермодуляция третьего порядка, IIP3 **, дБм	20	16	20	22
Возвратные потери по входу RF, RL _{RF} *, дБ	5	6	6	5
Возвратные потери по входу LO, RLLO*, дБ	5	6	5	5
Изоляция LO-RF, дБн	35	35	35	30
Изоляция RF-IF, дБн	15	20	20	20
Изоляция LO-IF, дБн	18	20	25	25

Для измерения будем использовать схему, приведенную на рис. 30. В качестве генератора сигнала гетеродина используем *синтезатор частот серии* «**Г7М-20**». В качестве «опорного» и «калибровочного» смесителя используем смесители «**МD621**». Фильтры промежуточной частоты – ППФ 900 МГц.



Рис. 30. Схема измерения смесителя «МD616» с векторной калибровкой:

фильтр ПЧ для опорного приёмника;
 опорный смеситель;
 делитель мощности;
 генератор сигнала гетеродина;
 осгласующий аттенюатор;
 калибровочный \ исследуемый смеситель;
 фильтр ПЧ для измерительного приёмника.


- Подготовить ВАЦ к работе; 1.
- Запустить программное обеспечение Graphit; 2.
- Осуществить подключение к прибору, рис. 31; 3.

Описание	Адрес прибора	Тип	Серийный номер	Состояние	- Durchanunge		
P4M-18/3 1102170230	r4m-18-1102170230.tetz	P4M-18/3	1102170230	Свободен	т в изоранное		
P4M-18 1102080016	r4m-18-1102080016.tetz	P4M-18	1102080016	Занят			
P4M-18 1102099999	r4m-18-1102099999.tetz	P4M-18	1102099999	Занят			
P4213/4 1132190048	r4213-1132190048.tetz	P4213/4	1132190048	Занят	товторить поис		
P4213/6 1132190055	r4213-1132190055.tetz	P4213/6	1132190055	Занят			
P4226/5 1133180038	r4226-1133180038.tetz	P4226/5	1133180038	Свободен	Все приборы		
P4226A 1133190021	r4226-1133190021.tetz	P4226A	1133190021	Свободен			
R4226 1133150001	r4226-1133150001.tetz	R4226	1133150001	Занят			
	Выберите прибор для подключи или перетащите запись в списо избранных приборов при помо	ения к щи мыши			Подключаться по умолчани		

Рис. 31. Подключение к ВАЦ

4. Сбросить настройки программного обеспечения Graphit по умолчанию, для этого нажать кнопку 1

«Восстановить начальные параметры»

В панели управления «Мощность» установить параметры мощности зондирования 0 дБм, рис. 32; 5.

Р Мощное	сть с гатален	ŝ
Старт		f
Стоп		p
Центр		Q
	0 дБм	0
Полоса		Ш
Точек		M
Управление аттенюаторами		₩
Аттенюатор генератора (пор	▼ 0T 1 / 2)	-Hr
0 дБ	0 дБ	\otimes
Аттенюаторы приёмников (п	юрт 1 / 2)	Y
0 дБ	0 дБ	P

Рис. 32. Установка мощности зондирования для измерения смесителя «MD616»



6. В панели управления «Частота» установить частотный диапазон зондирования, рис. 33;

f	Частота	ţĈ}
Старт	4,5 ГГц	f
Стоп	20 ГГц	p fo
Центр	12,25 ГГц	
Полоса	15,5 ГГц	\mathbb{M}
Точек	501	MA
Сканировани	ие по списку Выкл Список	₩ *
	Полный обзор	\otimes
	Нулевой обзор	F

Рис. 33. Установка частотного диапазона зондирования



7. Выбрать в главном меню Калибровка -> Мастер калибровки. Настроить мастер калибровки, рис. 34;

A Co		авление	<u>Д</u> иаграмма <u>Т</u> рас		
R	Мастер кали	бровки	F6		
1	Метод кал	ибров	ки		
🖲 Управ	ляемая (по сценари	лю)			
🔵 Пользг	овательская (в про	оизвольно	м порядке)		
	атическая (с элект	ронным ка	алиоратором)		
ß	Настройка	конфі	игурации		
Опользуе	емые порты		@ nont 1	0.0	oot 2
Сонфигио		avenoro v		01	opi 2
Condon Ab	Соединитель:	дусного у	Калибровочный набор:		Описание набора:
Порт 1:	3,5/SMA вилка	•	HKMM-13-13P Nº2196090535	•	Соединители тип 3,5 мм
	3,5/SMA розетка	•	HKMM-13-13P Nº2196090535	•	Соединители тип 3,5 мм
Порт 2:					

Рис. 34. Настройка мастера калибровки для измерения смесителя «MD616»

 Настроить параметры преобразования частоты в мастере калибровки, рис. 35. В открывшемся диалоговом окне поля для ввода «F1» и «P1» не доступны для изменения, и содержат диапазоны частот зондирующего сигнала первого порта. Чтобы изменить эти параметры, следует закрыть мастер калибровки и вернуться к шагу 6.

В полях ввода «Fr» и «Pr» задаётся диапазон частот и мощность внешнего генератора гетеродина. Коэффициенты преобразования a, b, c, d, определяющие значение преобразованной частоты задаются в соответствии с формулой:

$$f_2=rac{a}{b}f_1+rac{c}{d}f_{\scriptscriptstyle \Gamma}+f_{\scriptscriptstyle {
m CM}}$$
 , где

f₁ – частота зондирующего сигнала и приёмников первого порта;

f₂ – частота зондирующего сигнала и приёмников второго порта;

fr – частота гетеродина (при отсутствии внешнего гетеродина множитель «с» задается равным нулю;

f_{см} – смещение частоты, представляющее дополнительную отстройку;

- а множитель частоты первого порта;
- **b** делитель частоты второго порта;
- с множитель частоты гетеродина;
- d делитель частоты гетеродина.

В недоступных для изменения полях «F2» отображается диапазон преобразованных частот. В недоступном для изменения поле «P2» отображается мощность зондирования вторым портом, равная мощности зондирования первым портом плюс «Смещение мощности» для порта 2, задаваемое в окне «Конфигурация портов» (по умолчанию 0 дБ);



Рис. 35. Настройка параметров преобразования частоты в мастере калибровки

 Следуя указаниям мастера калибровки провести первые семь пунктов калибровки, рис. 36. Первые семь пунктов проводятся без использования «калибровочного» смесителя с помощью набора калибровочных мер или электронного калибратора;

🖉 Шаг 1 и	13 11 #72/37/26 Subjection & Contraction	
Порт 1 — XX — K3 — CH	Без смесителя	
Карта Карта Карта Порты 1,2	Подключите нагрузку «XX (в)» (№2251090535) на порт 1.	
Порт 1 (смесит.) — XX — XX — K3 — CH	С калибровочным смесителем	Мера отражения
Порты 1,2 (смесит.)		

Рис. 36. Этапы калибровки с преобразованием частоты

10. Собрать схему для калибровки с «калибровочным» смесителем, рис. 37.



Рис. 37. Калибровка с использованием «калибровочного» смесителя:

фильтр ПЧ для опорного приёмника; 2) опорный смеситель; 3) делатель мощности; 4) генератор сигнала гетеродина;
 5) согласующий аттенюатор; 6) калибровочный смеситель; 7) фильтр ПЧ для измерительного приёмника.

11. Провести дальнейшие этапы калибровки S – параметров с использованием «калибровочного смесителя» следуя указаниям мастера калибровки. «Калибровочный» смеситель должен работать в требуемом диапазоне частот, его коэффициент преобразования SC₂₁ должен быть более минус 10 дБ, его изоляция |S₂₁| должна быть не хуже -20 дБ. «Опорный» смеситель должен работать в требуемом частотном диапазоне;





12. Заменить «калибровочный» смеситель «MD621» на измеряемый «MD616», рис. 38;

1) фильтр ПЧ для опорного приёмника; 2) опорный смеситель; 3) делитель мощности; 4) генератор сигнала гетеродина; 5) согласующий аттенюатор; 6) калибровочный смеситель; 7) фильтр ПЧ для измерительного приёмника; 8) измеряемый смеситель «MD616».

13. Создать измерительную трассу для комплексного коэффициента преобразования, рис. 39. Результаты измерения приведены на рис. 40;

NR		Тип	К	нл/Изм. Опор	ж. Е,	д./дел.	п	Формат		Функции		
Tpc	1	И	8	<u>А</u> втомасштаб	А	дБ 05	5	Ампл лог (дв	5] 1			
Tpc	:3	И	6	Запомнить (Ctrl+R	дБ дБ	5	Ампл лог (да Ампл лог (да	5]			
-4		l I		<u>У</u> далить	Del			Ň			×	Автомасштаб диаграммы Ctrl+Num *
Я	20			Измерение	•	•	<u>S</u> 11		٦		1.	Создать <u>и</u> змерительную трассу Ctrl+N
кГц 1(!)	60		A	Формат Усреднение	•		S <u>2</u> 1 S <u>1</u> 2				10	Создать <u>м</u> атематическую трассу Ctrl+M Выделить все трассы Ctrl+A
M1)	60 -		Bee	Фазовая задерж	ка		S22		_		۲	Маркеры
	40 -		*	Фильтрация Временная облас	сть		Приём Сопро	ники тивление	;		S2P	OTVET Ctrl+P
	20 -			Сглаживание			Прово	димость	•		52P	Сохранить данные Сtrl+T
	0	-	***	Накопление Ограничение		_	Преоб Измер	разование ение шума	•	<u>SC21</u>	52	Периодическое сохранение SnP файлов
	-20-			Статистика			1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 - 1999 -	-		<u>a</u> 1c (1->2) <u>b</u> 1c (1->2)		Создать диаграмму Закрыть диаграмму Расположение диаграмм
	-40-									a2 <u>c</u> (1->2) b2c (<u>1</u> ->2)		Вид



Маркеры	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Позиция	4,600000 ГГц	6,000000 ГГц	8,000000 ГГц	10,000000 ГГц	12,000000 ГГц	14,000000 ГГц	16,000000 ГГц	18,000000 ГГц	20,000000 ГГц
Vector	-12,399 дБ (!)	-10,638 дБ (!)	-10,244 дБ (!)	-11,303 дБ (!)	-12,827 дБ (!)	-11,257 дБ (!)	-11,777 дБ (!)	-10,891 дБ (!)	-10,421 дБ
Vector_Phase	-16,216 ° (!)	-39,691 ° (!)	-140,156 ° (!)	138,324 ° (!)	116,912 ° (!)	-2,850 ° (!)	-100,805 ° (!)	-165,913 ° (!)	134,324 °

Рис. 40. Результаты измерения комплексного коэффициента преобразования C21 смесителя «MD616»