

# ШИРОКОПОЛОСНЫЕ УСИЛИТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ ДИАПАЗОНА 2-4 ГГц С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ 50 И 100 Вт

Бочкарев Д.В., Никитин Д.В., Кищинский А.А., Радченко А.В.

ЗАО «Микроволновые системы»

Россия, 105120, Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д.11

Тел.: +7(495) 917-21-03; e-mail: ak@mwsystems.ru; www.mwsystems.ru

**Аннотация** - В докладе изложены результаты экспериментального исследования параметров усилительных модулей, построенных по схеме двух- и четырехканального суммирования мощностей серийно-выпускаемых широкополосных транзисторных усилителей диапазона 2-4 ГГц, реализованы макеты модулей с октавной полосой и выходной непрерывной мощностью 50 и 100 Вт.

## I. Введение

Нередко перед разработчиками СВЧ усилителей мощности ставится задача получения больших значений мощности в широкой полосе частот. При этом построение усилителей по стандартным схемам в едином корпусе увеличивает их сложность из-за большого числа каналов суммирования, тепловых проблем, а также трудности настройки. Один из выходов — агрегатирование отдельных фазо- и амплитудоидентичных усилителей при помощи внешних схем суммирования с малыми потерями.

## II. Основная часть

В изготовленных усилительных модулях по схемам двух- и четырехканального суммирования в качестве усилителей использовались серийно-выпускаемые широкополосные транзисторные усилители СВЧ-мощности диапазона 2-4 ГГц PM24-C8. Усилители имеют выходную мощность 22-25 Вт, коэффициент усиления в линейном режиме 38-42 дБ, неравномерность АЧХ не более 3 дБ и КСВН выходов не более 2.

На рисунке 1 показаны семейства фазовых (в середине) и амплитудных (вверху) характеристик серии усилителей PM24-C8, которые использовались для построения исследуемых модулей.

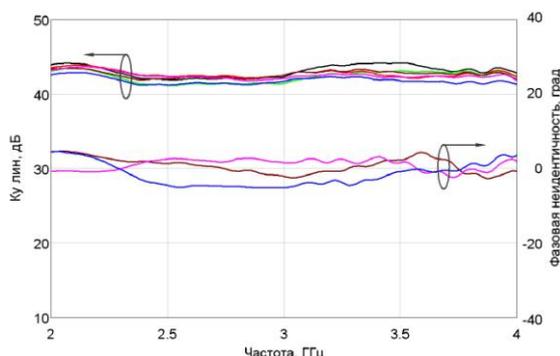


Рисунок 1. АЧХ и фазовая неидентичность усилителей PM24-C8.

Figure 1. Gain-frequency and phase difference characteristics of PM24-C8 amplifiers.

В схемах двух- и четырехканального суммирования использовались компактные корпусированные микрополосковые тандемные сумматоры мощности, фотография конструкции одного из них показана на рисунке 2. Тандемные мосты выполнены по тонко-

пленочной технологии с повышенной толщиной слоя вакуумной меди (толщина металлизации около 33 мкм) на поликоровой подложке толщиной 1 мм.



Рисунок 2. Конструкция тандемного сумматора мощности.

Figure 2. The construction of tandem coupler.

На рисунке 3 приведен график измеренных и расчетных потерь на деление/суммирование двух и шести таких сумматоров, соединенных между собой сфазированными коаксиальными кабельными сборками.

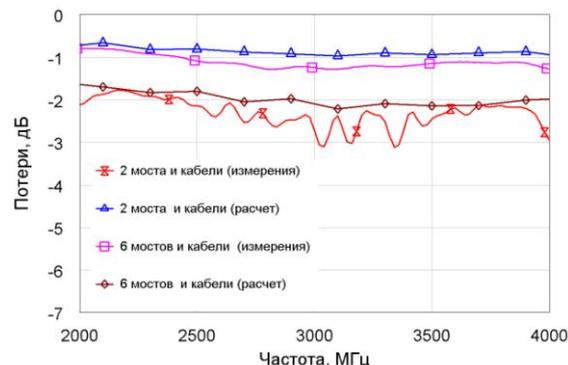


Рисунок 3. Потери на деление/суммирование тандемных мостов.

Figure 3. Tandem couplers division-combining loss.

На рисунке 4 представлена фотография усилительного модуля состоящего из: двух усилителей PM24-C8 (PM24-C8x2), входного и выходного тандемного делителя/сумматора, а также высокопроизводительного радиатора, с возможностью установки охлаждаемых модулей с двух сторон.

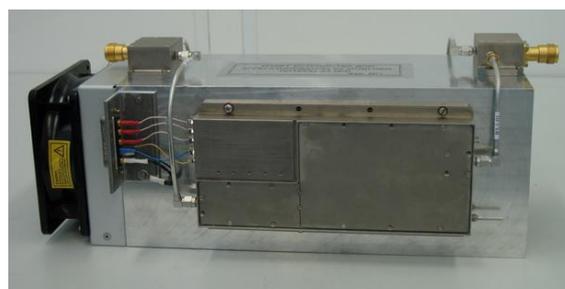


Рисунок 4. Фотография модуля PM24-C8x2.

Figure 4. The photography of PM24-C8x2 unit.

Модуль, состоящий из четырех усилителей PM24-C8 (PM24-C8x4), построен по той же схеме, что и PM24-C8x2, но суммируется, соответственно, шестью тандемными сумматорами (рисунок 5).

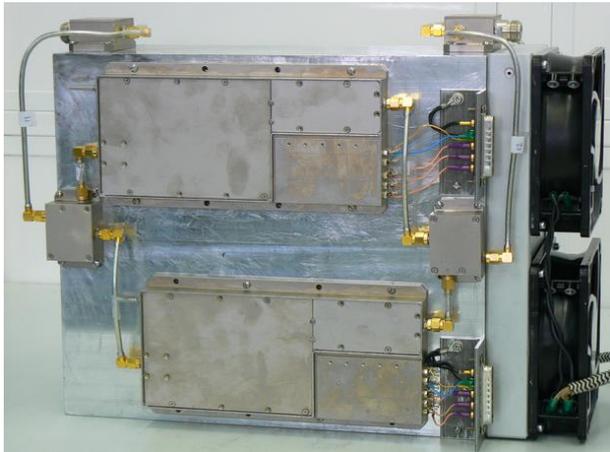


Рисунок 5. Фотография модуля PM24-C8x4.  
Figure 5. The photography of PM24-C8x4 unit.

Результаты измерения выходной мощности в линейном режиме и мощности насыщения модулей показаны на рисунке 6.

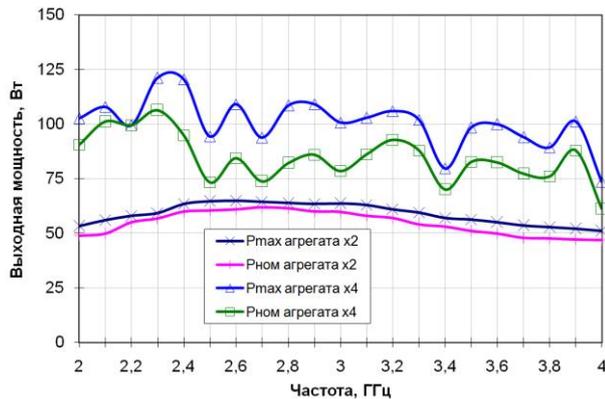


Рисунок 6. Зависимость выходной мощности от частоты модулей PM24-C8x2 и PM24-C8x4.  
Figure 6. Saturated and linear output power of PM24-C8x2 and PM24-C8x4 units.

Сравнение расчетной и измеренной мощности, экспериментальные потери в сумматорах вместе с кабельными сборками для модулей PM24-C8x2 и PM24-C8x4, приведены в таблице 1. Эффективность суммирования определяется потерями в кабельных сборках и сумматорах, а также идентичностью частотных характеристик этих сборок и используемых усилителей.

Таблица 1  
Table 1

Frequency, GHz	Pout. sat. PM24-C8, Watt	Losses in the cables and couplers, dB		Saturated output power of unit, Watt			
		PM24-C8x2	PM24-C8x4	PM24-C8x2		PM24-C8x4	
				Comp.	Exp.	Comp.	Exp.
2	31.9	-0.76	-2.14	57.5	53.3	99.0	102.6
2.5	37.7	-1.04	-2.16	65.7	64.6	108.9	94.4
3	36.8	-1.20	-2.74	59.5	63.6	101.8	100.7
3.5	32.3	-1.11	-2.47	56.5	56.4	94.4	98.4
4	31.2	-1.25	-2.96	48.6	51.0	83.8	73.5

Полученные результирующие параметры модулей представлены в таблице 2.

Таблица 2  
Table 2

Параметры	PM24-C8x2		PM24-C8x4	
	мин	макс	мин	макс
Диапазон частот, ГГц Frequency range, GHz	2 - 4			
Выходная мощность насыщения, Вт Saturated output power, Watt	51.0	64.6	73.5	121.1
Выходная мощность компрессии 1 дБ, Вт Linear output power, Watt	47.0	60.6	61.1	106.3
Усиление, дБ Gain, dB	41.0	43.5	39.3	41.3
Неравномерность АЧХ, дБ Gain flatness, dB	-	2.5	-	2.0
KCBH входа VSWR in	-	1.7	-	1.6
KCBH выхода VSWR out	-	1.9	-	1.8
Ток потребления '+', А Positive current, A	20	24.2	41.2	59
Ток потребления '-', мА Negative current, mA	-	374.2	-	715.6
КПД при Pвых = P-1 PAE	16.3%	19.4%	12.6%	19.9%

При работе модулей в лабораторных условиях температура на радиаторах не поднималась выше 35 градусов, а на усилителях не более 45 градусов. При этом расход воздуха для модуля PM24-C8x2 составил около 0,4 м<sup>3</sup>/мин, а для PM24-C8x4 - около 0,8 м<sup>3</sup>/мин. Габариты модулей: 395x180x155 мм (PM24-C8x2) и 395x180x280 мм (PM24-C8x4).

### III. Заключение

Разработаны и экспериментально исследованы макеты агрегатированных транзисторных усилителей мощности с октавной полосой в диапазоне 2-4 ГГц и выходной мощностью 50 и 100 Вт. Дальнейшее наращивание выходной мощности до 200-500 Вт в данном диапазоне будет проводиться путем оптимизации параметров суммирующих устройств и построением усилительных модулей на нитрид-галлиевых транзисторах.