

Б. Н. СЕВЕРГИН, И. В. ЯКОВЛЕВ, П. А. ЯЦЫК, А. Н. БАЛАБА

Украина, г. Вишневое, НПП "Гелиос РРЛ"; г. Киев, НПП "Сатурн",
ООО "Диона-Лтд"

E-mail: vsevergin@yandex.ru

Дата поступления в редакцию
22.02 2005 г.

Оппонент к. т. н. А. Б. КОХАНОВ
(ОНАС им. А. С. Попова, г. Одесса)

УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ КУ-ДИАПАЗОНА ДЛЯ НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Изложены результаты разработки в НПП "Сатурн" блоков усилителей мощности Ку-диапазона двух типов — с выходной мощностью 5 и 25 Вт (БУМ 5, БУМ 25).

Развитие систем спутниковой связи для передачи различных видов информации требует повышения уровня выходной мощности сигнала наземных станций при соблюдении линейности выходного сигнала. Известный производитель усилителей мощности Ку-диапазона фирма Advantech [1] выпускает ряд усилителей с выходной мощностью до 53 дБм (200 Вт) при компрессии коэффициента усиления на 1 дБ (P_{-1}) и коэффициенте усиления (K_u) до 64 дБ. Российская фирма «Радис» [2] выпускает усилители с выходной мощностью до 40 Вт и коэффициенте усиления до 53 дБ при том же критерии линейности выходного сигнала. Усилители имеют развитую систему управления и диагностики, включающую в себя микропроцессорный мониторинг и контроль, температурную компенсацию изменения коэффициента усиления, автоматическое отключение при перегреве, автоматическое отключение при высоком уровне отраженного сигнала, подачу сигнала об авариях через выходной порт на блок индикации и управления.

В настоящей статье изложены результаты разработки в НПП "Сатурн" блоков усилителей мощности Ку-диапазона двух типов — с выходной мощностью P_{-1} 5 и 25 Вт (БУМ 5, БУМ 25). Следует отметить, что усилители являются составной частью разработанного комплекта сверхвысокочастотной аппаратуры наземной станции спутниковой связи Ку-диапазона.



Рис. 1. Общий вид блока усилителя мощности Ку-диапазона

Общий вид блока усилителя мощности **БУМ 5** приведен на **рис. 1**, его структурная схема — на **рис. 2**.

БУМ 5 состоит из сверхвысокочастотного (СВЧ) усилителя мощности, блока питания DC/DC, платы питания и платы контроллера.

Блок питания DC/DC преобразует напряжение 24 В в напряжение 10 В с током нагрузки 5 А. КПД блока составляет около 80%. На входе и выходе блока установлены фильтры нижних частот, обеспечивающие фильтрацию помех.

Плата питания усилителя мощности (на схеме обведена пунктирной линией) предназначена для форми-

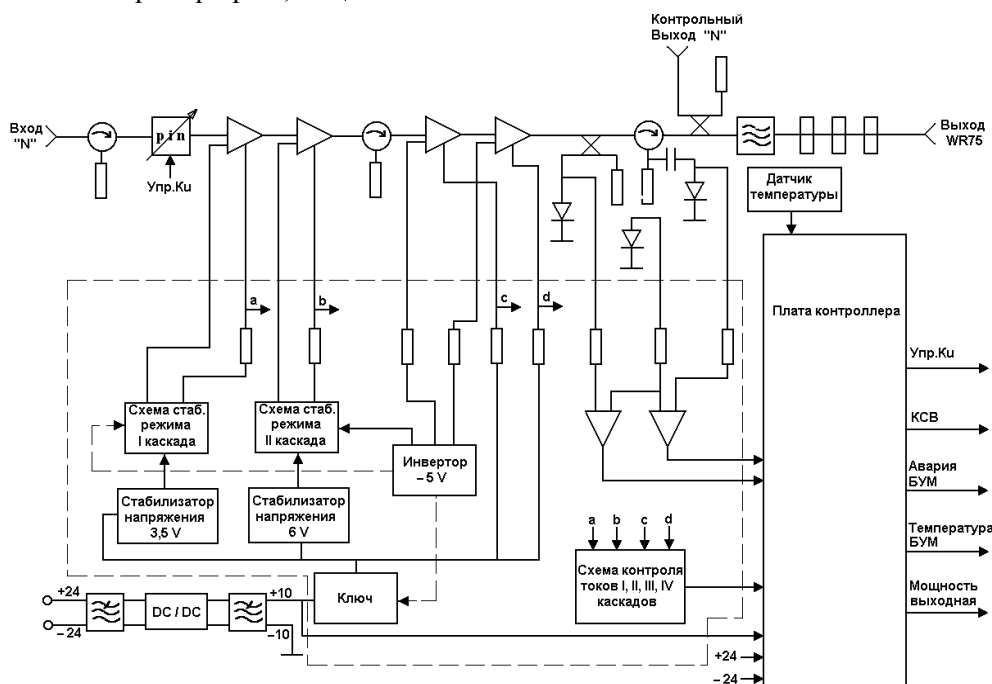


Рис. 2. Структурная схема БУМ 5

Таблица 1

Номер каскада	1	2	3	4
Тип активного элемента	Транзистор LP6836P70 фирмы Filtronics [3]	Микросхема TMD1414-1G фирмы Toshiba [4]	Транзистор FLM 1414-4F фирмы Fujitsu [5]	Транзистор FLM 1414-8F фирмы Fujitsu
K_u , дБ	6...7	27	5...6	5...6
Напряжение стока U_c , В	3,5	6	9,8	9,8
Ток стока I_c	35...40 мА	750...800 мА	1,2 А	2,2 А
Напряжение затвора U_3 , В	—	—	-0,5	-0,5
P_{-1} , дБм	—	30	36	39

рования необходимых напряжений и токов для каскадов СВЧ-усилителя мощности и подачи их в заданной временной последовательности. Кроме того, она обеспечивает стабилизацию режимов первого и второго каскадов для уменьшения нестабильности коэффициента усиления в интервале рабочих температур.

Плата контроллера управления предназначена для контроля параметров блока усилителя мощности, автоматической коррекции коэффициента усиления, формирования сигналов аварии и информационного обмена с блоком индикации.

СВЧ-усилитель мощности содержит четыре каскада усилителей и обеспечивает общий коэффициент усиления 43...44 дБ. Основные характеристики каскадов приведены в табл. 1.

Входные и выходные цепи согласования первого каскада выполнены на поликоре толщиной $h=0,5$ мм. Входные и выходные цепи согласования второго, третьего и четвертого каскадов выполнены на подложке Duroid RT5880 ($h=0,508$ мм, толщина металлизации $t=50$ мкм).

Для компенсации температурных изменений K_u в состав усилителя включен аттенюатор, выполненный на подложке из поликора Al_2O_3 толщиной 0,5 мм. В зависимости от температуры окружающей среды схема управления аттенюатором выдает ток величины, необходимой для компенсации изменения K_u усилителя в интервале рабочих температур за счет изменения затухания аттенюатора. Электрическая схема аттенюатора приведена на рис. 3.

Аттенюатор построен на трех диодах 2A553A. Диоды имеют следующие параметры: емкость диода при обратном напряжении -10 вольт $C_{\Sigma-10 В}$ — не более 0,02 пФ, прямое сопротивление потерь R_s — не более 3 Ом при токе 20 мА. Схема включения диодов обеспечивает удовлетворительное согласование в рабочем диапазоне частот при различных токах диодов (т. е. при различных значениях затухания аттенюатора).

Экспериментальные характеристики вносимого затухания от величины тока аттенюатора приведены

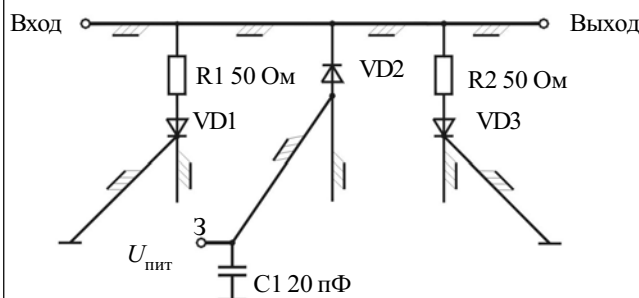


Рис. 3. Электрическая схема аттенюатора

на рис. 4. Величина коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) в рабочем диапазоне частот не превышала 1,8 при всех значениях тока.

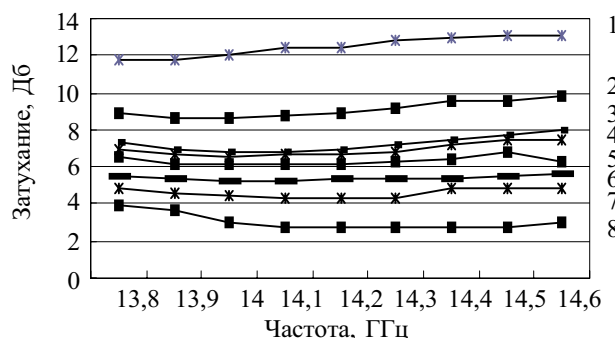


Рис. 4. Затухание аттенюатора в зависимости от тока:

1 — $I=5$ мА; 2 — 2 мА; 3 — 1 мА; 4 — 0,8 мА; 5 — 0,6 мА; 6 — 0,4 мА; 7 — 0,2 мА; 8 — 0 мА

Для подавления второй гармоники выходного сигнала в состав усилителя включен волноводный фильтр гармоник. На входе и выходе усилителя установлены микрополосковые циркуляторы ФПВН2-321-14.0. Контроль выходной мощности осуществляется с помощью детектора, установленного на выходе четвертого каскада. Контроль КСВН осуществляется с помощью детектора, установленного в третьем плече циркулятора.

Усилитель сигнала детектора выходной мощности выполнен по схеме инструментального усилителя на двух операционных усилителях. На один вход усилителя подается сигнал с диода детектора выходной мощности, на другой — напряжение пассивного диода, который служит для компенсации температурного ухода напряжения смещения рабочего диода.

Вход сигнала — коаксиальный разъем-розетка N-типа, выход — волновод WR 75.

Конструктивно БУМ 5 выполнен в виде герметичного блока. Герметизация осуществляется с помощью резинового уплотнителя. Габаритные размеры БУМ 5 — 245×300×92 мм, масса 6,5 кг.

Структурная схема БУМ 25 содержит дополнительный выходной каскад СВЧ-усилителя, датчик температуры, вентилятор и плату включения вентилятора, волноводный циркулятор на выходе блока. Включение вентилятора происходит при температуре окружающей среды +40°C. Измерение температуры производится в месте установки выходных каскадов СВЧ-усилителя. СВЧ-усилитель мощности обеспечивает общий коэффициент усиления 50...52 дБ. В СВЧ-усилителе мощности БУМ 25 первые три каскада и аттенюатор выполнены так же, как в БУМ 5, на тех

Таблица 2

Номер каскада	4	5
Тип активного элемента	Транзистор TIM1414-18L фирмы Toshiba	Два транзистора TIM1414-18L фирмы Toshiba (балансная схема)
K_v , дБ	6...7	6
Напряжение стока U_c , В	9	9
Ток стока I_c , А	5,5...6	11...12
P_{-1} , дБм	42...42,5	—

Таблица 3

Рабочий диапазон частот, ГГц	14...14,5	
Коэффициент усиления	БУМ 5, дБ	38...41
	БУМ 25, дБ	45...48
Неравномерность коэффициента усиления	Во всем рабочем диапазоне частот, дБ	≤ 2
	В любой полосе рабочего диапазона частот 40 МГц, дБ	$\leq 0,5$
Нестабильность коэффициента усиления	При постоянном уровне входного сигнала, дБ /дБ/сут	± 1 в диапазоне рабочих температур $\pm 0,25$ при температуре 18...20°C
Выходная мощность при компрессии на 1 дБ	БУМ 5, Вт	5
	БУМ 25, Вт	25
Уровень интермодуляционных составляющих третьего порядка в рабочем диапазоне частот	при подаче двух синусоидальных сигналов, отстоящих друг от друга на 5 МГц, с суммарной мощностью не менее	2,5 Вт, БУМ 5, дБс -27
		12,5 Вт, БУМ 25, дБс -23
Уровень паразитных составляющих в диапазоне рабочих частот	при выходной мощности	5 Вт, БУМ 5, дБс ≤ 60
		25 Вт, БУМ 25, дБс ≤ 60
Уровень мощности сигналов второй и третьей гармоник на выходе	при выходной мощности	5 Вт, БУМ 5, дБс ≤ 65
		25 Вт, БУМ 25, дБс ≤ 65
Уровень преобразования АМ/ФМ	при выходной мощности	5 Вт, БУМ 5, °дБ ≤ 3
		25 Вт, БУМ 25, °дБ ≤ 3
Входной КСВН	$\leq 1,25$	
Выходной КСВН	$\leq 1,25$	
Контрольный выход	Переходное затухание, дБ	
КСВН контрольного выхода	$\leq 1,8$	
Напряжение питания, В	24 $\pm$ 2,4	
БУМ 5 и БУМ 25 должны вырабатывать цифровые сигналы	аварии БУМ	
	превышения КСВН выхода	Более 2
	рабочей температуры выходного каскада с точностью, °C	± 2

же элементах. Характеристики четвертого и пятого каскадов приведены в **табл. 2**.

Входные и выходные цепи согласования четвертого и пятого каскадов выполнены на подложке Duroid RT5880 ($h=0,508$ мм, $t=50$ мкм).

Контроль выходной мощности осуществляется с помощью детектора, установленного на выходе волноводного циркулятора. Контроль КСВН осуществляется с помощью детектора, установленного в третьем плече перед поглощающей нагрузкой волноводного циркулятора.

Конструктивно БУМ 25 выполнен в виде герметичного блока. Герметизация осуществляется с помощью резинового уплотнителя.

Габаритные размеры БУМ 25 400×280×150 мм, масса 11,5 кг.

Результаты измерений электрических параметров блоков БУМ 5 и БУМ 25 приведены в **табл. 3**.

Блоки усилителей прошли следующие испытания:
— в интервале рабочих температур –40°C...+60°C;
— в интервале предельных температур –50°C...+70°C;
— на относительную влажность 92...98% при +35°C;
— на пониженное атмосферное давление 525 мм рт. ст.;

— на синусоидальную вибрацию в диапазоне 10...55 Гц с ускорением 1 г;

— на удары многократного действия с ускорением 15 г.

На оба типа усилителей разработан комплект конструкторской документации.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. <http://www.advantech.ca>
2. <http://www.radis.ru>
3. <http://www.filtronic.co.uk/>
4. <http://www.toshibasemicon.com.cn>
5. <http://www.us.eudyna.com/>