

## Изследвания на широколентови усилватели, реализирани с различни свързвания на два двутактни широколентови усилвателни модули с биполярни и MOS транзистори

Боян Карапенов

**Studies of Broadband Amplifiers Implemented with Different Connections of two Push-pull Broadband Amplifier Modules with Bipolar and MOS Transistors:** This paper presents the qualitative parameters (amplitude response, voltage gain, dynamic range and magnitude-frequency response) of broadband amplifiers implemented with two connected broadband amplifier modules with bipolar and MOS transistors and different variants of their connections on input and output. The experimental results have been generalized and presented in graphical and tabular form.

**Key words:** Study, Broadband Amplifier, Push-pull Broadband Amplifier Module, Addition and Division of Signals, Connection on Input and Output, Qualitative Parameters.

### ВЪВЕДЕНИЕ

За достигане на необходимата изходна мощност в съвременните радио-предавателни устройства широколентовите усилватели (ШУ) до няколко kW в честотния обхват до десетки MHz най-често се изграждат на базата на отделни широколентови усилвателни модули (ШУМ) с биполярни или с MOS/полеви транзистори, чиято изходна мощност може да достигне до 300÷400 W, широколентови трансформатори, съгласуващо-трансформиращи вериги и други компоненти, а също така и от делители и суматори на сигнали, свързани към техния вход и изход.

Към съставните ШУМ и реализираните ШУ се предявяват специфични изисквания по отношение на коефициента на предаване в лентата на пропускане  $A_u$ , амплитудно-честотната характеристика ( $A_{ЧХ}$  – долна  $f_b$ , горна  $f_h$  гранична честота и пропускана честотна лента  $\Delta f$ ), динамичния обхват  $D$ , и др.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

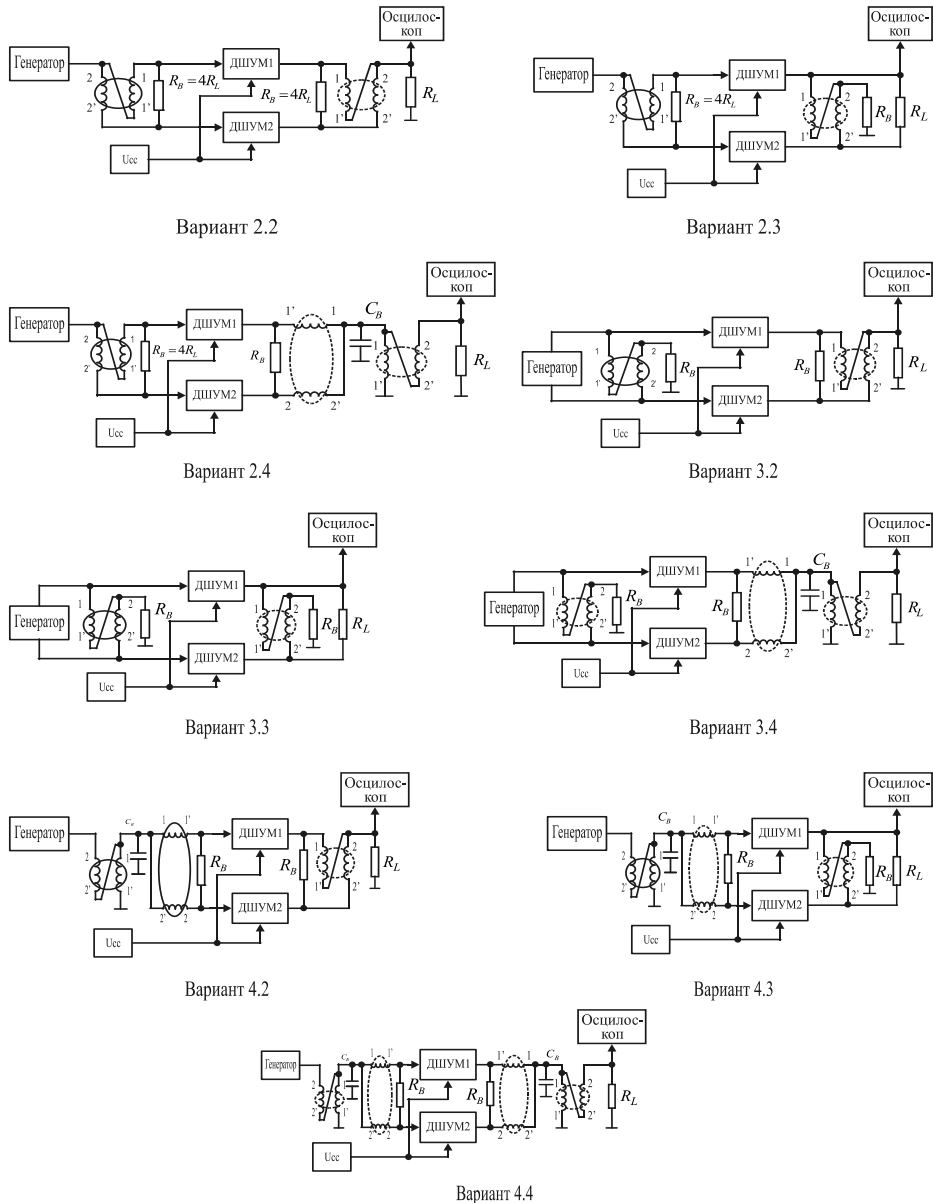
Най-голямо приложение за делене и сумиране на сигнали са намерили начините [3], [1]: директно (паралелно и противотактно) свързване, чрез мостови схеми и с помощта на високочестотни широколентови трансформатори.

Обект на експериментално изследване са основните характеристики и качествените показатели на реализирани ШУ, изградени от два двутактни широколентови усилвателни модули (ДШУМ), единият от които с БТ, а другият с MOS транзистори при използването на различни съгласуващо-трансформиращи вериги, използвани и в [2], съдържащи широколентови трансформатори с предавателни линии (ШТПЛ), свързани към техния вход и изход, и притежаващи функциите на делители и суматори на сигнали.

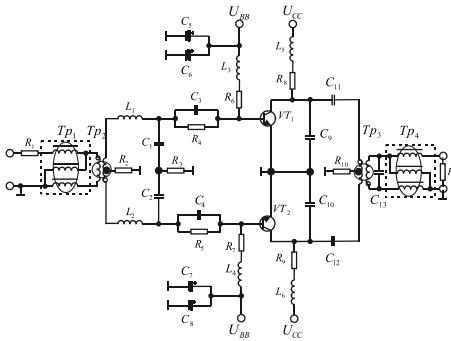
На фиг. 1 е показан начинът на свързване [3], [1] и съответните варианти на използваните входно-изходни съгласуващо-трансформиращи вериги, изпълнени с ШТПЛ, при деленето (на входа) и сумирането (на изхода) на сигналите на двата ДШУМ.

Принципните схеми на използваните ДШУМ с биполярни (2Т920В) и MOS (SD2904) транзистори са показани съответно на фиг. 2 и фиг. 3 [4]. Схемните елементи са със стойности и параметри, получени в резултат на извършено електрическо и конструктивно оразмеряване. Трансформаторите  $Tr_1$  и  $Tr_4$  осигуряват необходимото съгласуване на входа и на изхода ( $nz=1:1$ ), а чрез  $Tr_2$  и  $Tr_3$  се осъществява необходимата трансформация на импедансите на схемата, съответно  $nz=4:1$  и  $nz=1:4$ .

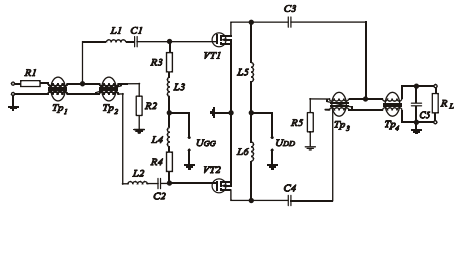
**1. Експериментални резултати, получени при изследването на ШУ с използване на една и съща съгласуващо-трансформираща верига, свързана на входа**



**Фиг. 1. Начин и варианти на свързване на използваните съгласуващо-трансформиращи вериги при деленето и сумирането на сигнали на два ДШУМ – единият с биполярни (ДШУМ1), а другият с MOS (ДШУМ2) транзистори**

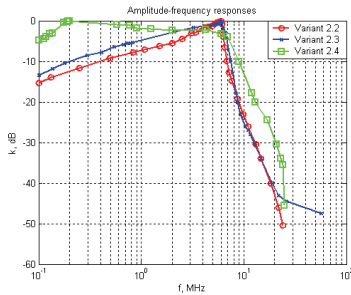


Фиг. 2. Принципна схема на ДШУМ с биполарни транзистори

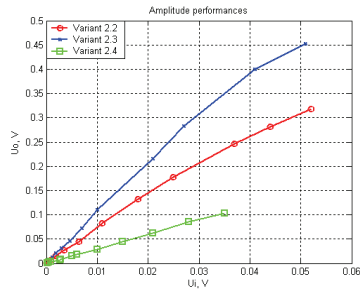


Фиг. 3. Принципна схема на ДШУМ с MOS транзистори

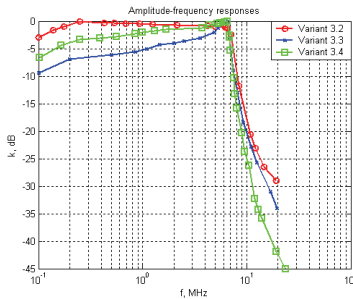
На фиг. 4 ÷ фиг. 9 са представени в графичен вид получените АЧХ и АХ при свързването на ДШУМ със съответните съгласуващо-трансформиращи вериги на входа и изхода при „константен” вход, а в таблица 1 – получените качествени показатели.



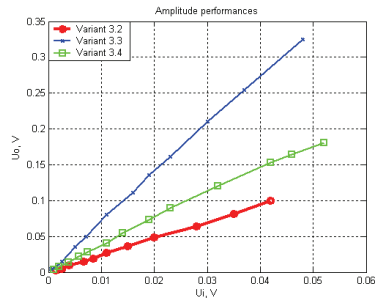
Фиг. 4. АЧХ за Варианти 2.2, 2.3 и 2.4



Фиг. 5. АХ за Варианти 2.2, 2.3 и 2.4



Фиг. 6. АЧХ за Варианти 3.2, 3.3 и 3.4

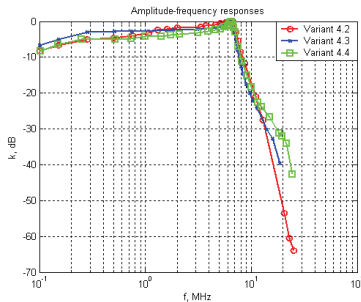


Фиг. 7. АХ за Варианти 3.2, 3.3 и 3.4

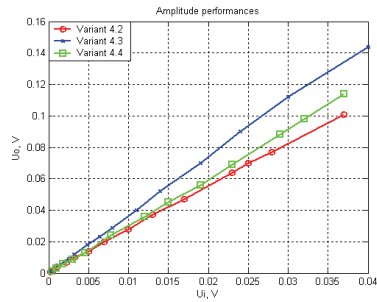
### Анализ на получените резултати

При извършване на сравнителна оценка на АЧХ на реализираните ШУ за варианти 2.2 и 2.3 се установява съвпадане на графичните им зависимости за високи честоти до ниво -40 dB. Коефициентът на предаване при ниски честоти на вариант 2.3 е по-голям. Вариант 2.4 притежава по-широка честотна лента и линейност на коефициента на предаване. Амплитудните характеристики се разли-

чават, като най-голямо усилване има при варианта на свързване 2.3, чийто коефициент на усилване по напрежение  $A_u=10,42$  е с най-голяма стойност (табл. 1).



Фиг. 8. АЧХ за Варианти 4.2, 4.3 и 4.4



Фиг. 9. АХ за Варианти 4.2, 4.3 и 4.4

Variant	Качествен показател на ШУ						
	от АХ				от АЧХ		
	$A_u$	$U_{imin}, V$	$U_{imax}, V$	$D$	$f_b, MHz$	$f_h, MHz$	$\Delta f, MHz$
Variant 2.2	7,14	0,008	0,042	5,25	3,1	6,2	<b>3,1</b>
Variant 2.3	10,42	0,011	0,041	3,72	1,8	6,5	4,7
Variant 2.4	2,94	0,005	0,029	5,80	0,7	6,0	5,3
Variant 3.2	2,45	0,005	0,042	8,40	0,3	7,2	6,9
Variant 3.3	6,96	0,003	0,048	16,00	3,7	6,9	<b>3,2</b>
Variant 3.4	3,91	0,005	0,045	9,00	0,4	6,9	6,5
Variant 4.2	2,76	0,004	0,027	6,75	1,3	7,1	5,8
Variant 4.3	3,68	0,003	0,030	10,00	0,3	6,9	6,6
Variant 4.4	3,00	0,007	0,037	5,29	3,8	7,0	<b>3,2</b>

Таблица 1. Качествени показатели на реализираните варианти на ШУ с „константен” вход

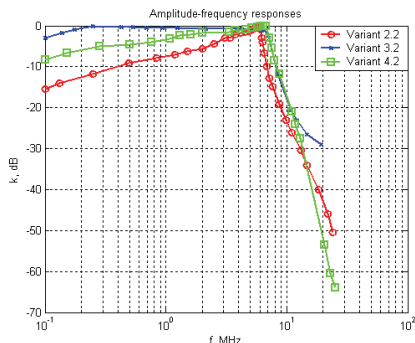
При ниво на входния сигнал 0,04 V линейността на характеристиката се променя с навлизане в режим на насищане, докато при варианти 2.2 и 2.4 те са линейни в целия участък. Най-малък коефициент на усилване и най-широка честотна лента се осигурява при ШУ, изпълнен по схемата на свързване на вариант 2.4.

АЧХ за варианти 3.2, 3.3 и 3.4 са сходни в областта на високите честоти, а при ниските коефициентът на предаване на вариант 3.2 е най-малък и се характеризира с подчертана линейност. Широчината на пропусканата честотна лента за разглежданите варианти се изменя от порядъка на два пъти, като тя е най-голяма ( $\Delta f=6,9$  MHz) при най-малкия коефициент на усилване  $A_u=2,45$  - вариант 3.2 (таблица 1). В областта на високите честоти до ниво -10 dB, характеристиките почти съвпадат, като най-голяма стръмност притежава ШУ, реализиран по вариант 3.4. АХ на вариант 3.3 сключва най-голям ъгъл с абсцисната ос и коефициентът на усилване по напрежение е най-голям  $A_u=6,96$ , а характеристиката - линейна.

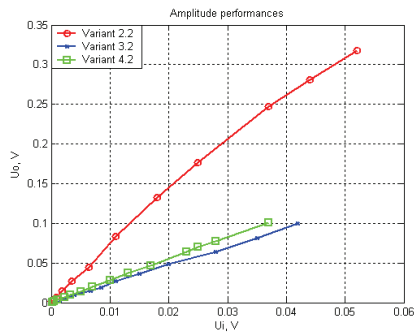
АЧХ и АХ на реализираните ШУ по вариантите на свързване 4.2, 4.3 и 4.4 се характеризират с най-малка относителна разлика, стойността на пропусканата честотна лента също се изменя от порядъка на два пъти като коефициентът на предаване  $A_u$  се изменя в минимални граници. Вариант 4.3 осигурява най-голяма широчина на пропусканата честотна лента  $\Delta f=6,6$  MHz при най-голяма стойност на коефициента  $A_u$  3,68.

**2. Експериментални резултати, получени при изследването на ШУ с използване на една и съща съгласуващо-трансформираща верига, свързана на изхода**

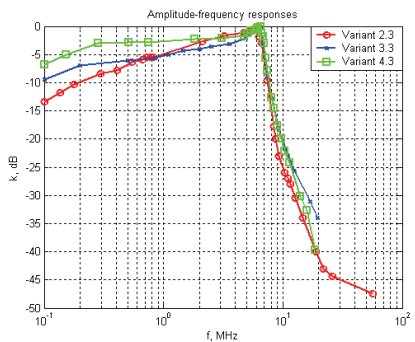
На фиг. 10 ÷ фиг. 15 са представени в графичен вид получените АЧХ и АХ при свързването на ДШУМ със съответните съгласуващо-трансформиращи вериги на входа и изхода при „константен” изход, а в таблица 2 – получените качествени показатели.



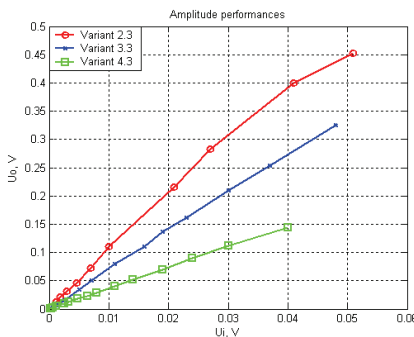
**Фиг. 10. АЧХ за Варианти 2.2, 3.2 и 4.2**



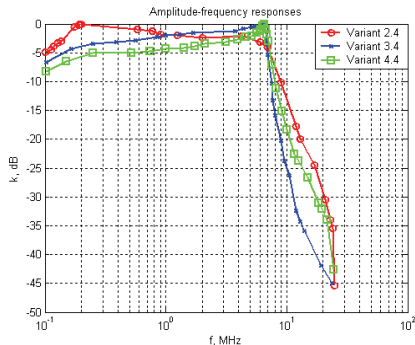
**Фиг. 11. АХ за Варианти 2.2, 3.2 и 4.2**



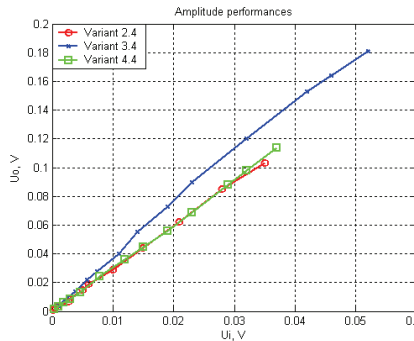
**Фиг. 12. АЧХ за Варианти 2.3, 3.3 и 4.3**



**Фиг. 13. АХ за Варианти 2.3, 3.3 и 4.3**



**Фиг. 14. АЧХ за Варианти 2.4, 3.4 и 4.4**



**Фиг. 15. АХ за Варианти 2.4, 3.4 и 4.4**

### Анализ на получените резултати

При сравняване на получените АЧХ на реализираните ШУ по вариантите с „константен“ изход 2 - варианти 2.2, 3.2 и 4.2, в областта на ниските честоти се установява разлика в спада на коефициента на предаване  $A_u$  като най-малко изменение и най-голяма линейност в лентата на пропускане има вариант 3.2, а във високочестотния обхват графичните зависимости имат един и същ характер и почти съвпадат до ниво -20 dB. При вариант 2.2 коефициентът на усилване по напрежение е по-голям от този на варианти 3.2 и 4.2, които са близки по стойност. Най-широка честотна лента  $\Delta f=6,9$  MHz и най-малък коефициент на усилване по напрежение  $A_u=2,45$ , в сравнение с останалите, има вариант 3.2 (таблица 2).

Variant	Качествен показател на ШУ						
	от АХ				от АЧХ		
	$A_u$	$U_{imin}, V$	$U_{imax}, V$	D	$f_b, \text{MHz}$	$f_h, \text{MHz}$	$\Delta f, \text{MHz}$
Variant 2.2	7,14	0,008	0,042	5,25	3,1	6,2	<b>3,1</b>
Variant 3.2	2,45	0,005	0,042	8,40	0,3	7,2	6,9
Variant 4.2	2,76	0,004	0,027	6,75	1,3	7,1	5,8
Variant 2.3	10,42	0,011	0,041	3,72	1,8	6,5	4,7
Variant 3.3	6,96	0,003	0,048	16,00	3,7	6,9	<b>3,2</b>
Variant 4.3	3,68	0,003	0,030	10,00	0,3	6,9	6,6
Variant 2.4	2,94	0,005	0,029	5,80	0,7	6,0	5,3
Variant 3.4	3,91	0,005	0,045	9,00	0,4	6,9	6,5
Variant 4.4	3,00	0,007	0,037	5,29	3,8	7,0	<b>3,2</b>

**Таблица 2.** Качествени показатели на реализираните варианти на ШУ с „константен“ изход

АЧХ на реализираните ШУ по варианти 2.3, 3.3 и 4.3 в областта на ниските честоти се различават, като с най-голяма линейност на коефициента на предаване, но най-малък коефициент на усилване се отличава вариант 4.3. При високи честоти стойностите и склоновете на характеристиките им съвпадат. От представените АХ се установява, че най-голямо усилване  $A_u=10,42$  осигурява вариант 2.3, като при 0,04 V линейността ѝ се променя. Вариант 4.3 има най-широка честотна лента  $\Delta f=6,6$  MHz и най-малък коефициент на усилване по напрежение  $A_u=3,68$ .

АЧХ на варианти 2.4, 3.4 и 4.4 се характеризират с малко изменение на коефициента на предаване в областта на ниските и с голяма стръмност на спад при високите честоти. Най-широка честотна лента има ШУ, реализиран по варианта на свързване 3.4, където и коефициентът на усилване по напрежение е най-голям.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С използване на еднакви съгласуващо-трансформиращи вериги на входа и на изхода на ШУ, изградени от два ДШУМ (варианти 2.2, 3.3 и 4.4), се осигурява относително еднаква широчина на пропусканата честотна лента. При комбинацията на различни такива стойността ѝ ( $\Delta f$ ) може да се увеличи до по-вече от два пъти. Променяйки използваната съгласуващо-трансформираща верига и начина на свързване на входа и/или изхода на реализираните ШУ, изградени на базата на отделни ШУМ, стойностите на качествените показатели могат да бъдат оптимизирани.

### ЛИТЕРАТУРА

[1] Добрев Д., Л. Йорданова. Радиокommunikации, част първа. София, СИЕЛА, 2001.

[2] Карапенев Б., Изследвания за сумиране и делене на сигнали при двутактни широколентови усилвателни модули. Международна научна конференция UNITECH 2009, стр. I229-I237, Габрово.

[3] Тихчев Хр., Радиопредавателни устройства. Техника, София, 1992.

[4] Philips Components. Bipolar & MOS Transmitting Transistors. Application Reports 1998.

**За контакти:**

Гл. ас. д-р Боян Димитров Карапенев, Катедра “Комуникационна техника и технологии”, Технически университет - Габрово, тел.: 066/827-415, e-mail: bkarapenev@tugab.bg

**Докладът е рецензиран.**