

**В.В. Алексеев<sup>1</sup>, В.П. Мешанов<sup>2</sup>, В.В. Семенчук<sup>1</sup>, Л.В. Шикова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Мытищинский научно-исследовательский институт  
радиоизмерительных приборов

<sup>2</sup>ООО Научно-производственное предприятие «НИКА-СВЧ»

## **Сверхширокополосные фиксированные фазовращатели на ступенчатых связанных линиях передачи со шлейфом**

*Получены результаты решения задачи синтеза сверхширокополосных фиксированных фазовращателей на ступенчатых связанных линиях передачи со шлейфом. Показано преимущество предложенной структуры по сравнению с известными.*

**Ключевые слова:** фиксированный фазовращатель, связанные линии передачи, шлейф

Пассивное функциональное устройство, обеспечивающее постоянный фазовый сдвиг между опорным (компенсирующим) каналом ОК и фазосдвигающим каналом (ФК) в широкой (сверхширокой) рабочей полосе частот, называется фиксированным фазовращателем (ФФ). Фиксированные фазовращатели являются базовыми элементами современной радиоэлектронной аппаратуры: передающей, приёмной, измерительной, испытательной, контрольной. Они используются в качестве эталонной меры фазового сдвига, а также в фазированных антенных решётках и гибридных схемах.

Классической стала структура ФФ предложенная и исследованная Шиффманом [1]. В ней опорный канал представляет собой отрезок однородной одиночной линии передачи (ЛП), а ФК (рис. 1а) образован из С-звена, т.е. отрезка однородных связанных ЛП с направленностью второго типа, выходные плечи которого соединены между собой. Если отрезок связанных ЛП обладает идеальной направленностью, и длина соединительного отрезка равна нулю, то С-звено является всепропускающим четырёхполюсником. Однако на практике потенциальные возможности фазовращателей на С-звеньях не могут быть полностью реализованы по двум причинам: длина соединительного отрезка отлична от нуля; условия согласования и идеальной направленности в реальных связанных ЛП конкретной конфигурации нарушаются.

В [2] вместо идеализированного отрезка одиночной ЛП нулевой длины использовался отрезок ЛП, длина которого учитывалась при решении задачи оптимизации. В работах [3, 4] вместо соединительного отрезка используется короткозамкнутый шлейф (рис. 1б). В [5] проведено исследование структуры ФК, образованного каскадным включением нескольких одинаковых однородных связанных ЛП со шлейфом. На рис. 2 приведена двухэлементная структура ФК [5]. Проведённый в [5] сравнительный анализ предложенной в ней структуры со структурами ФФ, исследованными в работах [1-4, 6, 7], показал, что фазовращатели на основе связанных ЛП со шлейфами имеют существенно меньшие отклонения фазочастотных характеристик (ФЧХ) от номинального значения сдвига фазы  $\varphi_0$  и их практическая реализация существенно упрощается: значения коэффициентов связи в этих структурах существенно меньше, чем в ФФ на С-звеньях.

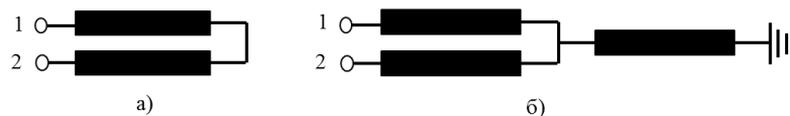


Рисунок 1.

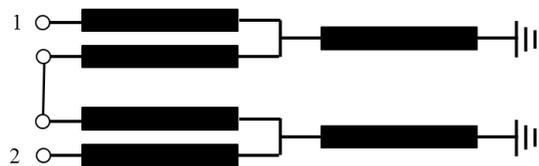


Рисунок 2.

Цель данной работы – исследование новой структуры ФК, образованной ступенчатой связанной ЛП со шлейфом. На рис. 3 изображена двухступенчатая структура ФК со шлейфом.



Рисунок 3.

Для двух- и трёхступенчатых структур была решена задача совместной параметрической оптимизации ФЧХ и КСВН с использованием среды проектирования AWR\_DE. В таблице 1 приведены результаты решения для двухступенчатой структуры. В таблице использованы следующие обозначения:  $\Delta\varphi$  – максимальное отклонение функции фазового сдвига от номинального значения  $\varphi_0$ ;  $\theta_{OK}=2\pi l$  – электрическая длина ОК,  $l_{OK}/\lambda_{cp}$  – длина ОК, нормированная на среднюю длину волны рабочего диапазона частот;  $КСВН_{max}$  – максимальное значение коэффициента стоячей волны напряжения на входе фазосдвигающего канала,  $Z_{0ei}, Z_{0oi}$  – волновые сопротивления чётного и нечётного типа возбуждения  $i$ -того отрезка связанных ЛП соответственно,  $i=1, 2$ ;  $Z_{шл}$  – волновое сопротивление шлейфа. Волновые сопротивления подводящих линий полагались равными 50 Ом. Для сравнения в таблице 2 приведены оптимальные параметры для двухэлементной структуры со шлейфами (рис. 2), полученные в [5]. Как показывают результаты сравнения табл. 1, 2, предложенная структура ФК характеризуется существенно меньшими отклонениями ФЧХ от номинального значения сдвига фазы  $\varphi_0$ . Их практическая реализация упрощается, поскольку значения  $Z_{шл}$  значительно меньше, чем в ФК двухэлементной структуры, показанной на рис. 2 [5]. Кроме того, они более экономичны, так как в них используется только один шлейф.

Таблица 1

$\varphi_0$ , град $\theta_{OK}$ , град		45	67.5	90	135
		405	427.5	450	495
к=2	$\Delta\varphi$ , град	0.0010	0.0021	0.00369	0.0096
	$KCBH_{\max}$	1.0024	1.0044	1.0073	1.0160
	$Z_{0e1}$ , Ом	48.074284	46.940233	45.722422	43.09481
	$Z_{0o1}$ , Ом	46.998450	45.366724	43.688210	40.261334
	$Z_{0e2}$ , Ом	43.671519	39.916888	36.165631	29.213011
	$Z_{0o2}$ , Ом	33.876353	28.262159	23.742322	17.028569
	$Z_{шл}$ , Ом	76.157370	43.584961	27.974281	13.638561
к=3	$\Delta\varphi$ , град	0.0198	0.04341	0.07971	0.2237
	$KCBH_{\max}$	1.0213	1.0400	1.0655	1.1497
	$Z_{0e1}$ , Ом	47.167016	45.455071	43.585771	39.481878
	$Z_{0o1}$ , Ом	45.556185	43.075930	40.470418	35.103954
	$Z_{0e2}$ , Ом	43.362761	39.313879	35.260878	27.750428
	$Z_{0o2}$ , Ом	31.893229	25.708058	20.803523	13.773579
	$Z_{шл}$ , Ом	84.511297	48.160073	30.765295	14.765039

Таблица 2

$\varphi_0$ , град $\theta_{OK}$ , град		45	67.5	90	135
		405	427.5	450	495
к=2	$\Delta\varphi$ , град	0.0151	0.0263	0.0403	0.0818
	$KCBH_{\max}$	1.0185	1.0272	1.0342	1.0434
	$Z_{0e}$ , Ом	47.649437	46.469590	45.350623	43.345005
	$Z_{0o}$ , Ом	43.760126	41.170437	38.889323	35.061278
	$Z_{шл}$ , Ом	145.77480	92.466470	66.128572	40.439995
к=3	$\Delta\varphi$ , град	0.1430	0.2630	0.4273	0.9304
	$KCBH_{\max}$	1.0401	1.0846	1.1441	1.3146
	$Z_{0e}$ , Ом	48.051050	46.567604	44.894434	41.152702
	$Z_{0o}$ , Ом	43.142707	39.806329	36.620491	30.731548
	$Z_{шл}$ , Ом	167.09840	106.50757	76.058963	45.463396

## Библиографический список

1. Schiffman В.М. A new class of broadband microwave 90-degree phase shifters // – IRE Trans. – 1958. – Vol. MTT-6. – No. 4. – P. 232-237.
2. Мещанов В.П. Синтез ступенчатых фазовращателей на основе линий передачи с Т-волнами / В.П. Мещанов, Л.В. Шикова, И.В. Метельникова // – Радиотехника и электроника. – 1988. – Т. 33. – № 9. – С. 1845-1852.
3. Аристархов Г.М. Широкополосные фазовращатели на связанных микрополосковых линиях с кратными электрическими длинами / Г.М. Аристархов, А.А. Алексеев // – Радиотехника. – 1987. – № 12. – С. 58-60.
4. Page J.E. Lattice equivalent circuits of transmission-line and coupled-line sections / J.E. Page, J. Esteban, C. Samacho-Rañalosa // – IEEE Trans. – 2011. – V. MTT-59. – No. 10. – P. 2422-2430.
5. Исаев В.М. Сверхширокополосные фиксированные фазовращатели на связанных линиях передачи со шлейфами / В.М. Исаев, В.П. Мещанов, В.В. Семенчук, Л.В. Шикова // – Радиотехника и электроника. – В печати.
6. Meschanov V.P. A new structure of microwave ultrawide-band differential phase shifter / – V.P. Meschanov, I.V. Metelnikova, V.D. Turpikin, G.G. Chumaevskaaya // – IEEE Trans. – 1994. – V. MTT-42. – No. 5. – P. 762-765.
7. Гительсон А.А. Синтез фазовращателей СВЧ на ступенчатых связанных линиях / А.А. Гительсон, В.С. Михалевский, В.А. Следков // – Антенны. – 1975. – № 22. – С. 117-132.