

УДК 621.396.677

Применение парных параллельных фильтров для обработки сверхширокополосных сигналов

Чернышев С. Л.^{1,*}

^{*}chemshv@bmstu.ru

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Рассмотрено применение парных параллельных фильтров. Такое соединение позволяет уменьшить волновое сопротивление линии в месте их подключения и уменьшить возможность возбуждения высших типов колебаний в месте стыка. Показано, что при одинаковых фильтрах требования к их входному коэффициенту отражения аналогичны требованиям к таковому при одиночном параллельном фильтре. Найдены выражения, способствующие синтезу таких соединений. Показана возможность согласованной фильтрации сверхширокополосных сигналов при работе «на проход» в таких соединениях.

Ключевые слова: сверхширокополосный сигнал, параллельная линия, согласованная фильтрация, обработка сигнала, нерегулярная линия

Фильтрация, обработка и формирование сверхширокополосных (СШП) сигналов с относительной полосой рабочих частот свыше 50% возможна на нерегулярных линиях [1-5]. Методы синтеза таких линий в сверхширокой полосе достаточно разработаны [1,6], в том числе и для антенн [7,8]. В связи с трудностями синтеза таких линий не по отраженной волне, а по прошедшей, возникла идея включения их в передающую линию параллельно и были найдены выражения для расчета таких фильтров [9]. Тем не менее остались трудности их реализации, заключающиеся в том, что параллельная линия, к которой подключается фильтр, должна иметь волновое сопротивление в два раза меньшее, чем входная и выходная, что приводит к ее расширению и как к неудобству подключения, так и к повышенной возможности возбуждения высших типов колебаний на стыке линий. Выходом из этого положения является подключение к стыку не одной, а двух параллельных нерегулярных линий. При этом волновые сопротивления и ширины всех четырех линий были бы одинаковы. Данная статья посвящена исследованию возможности создания такого соединения.

Определение матрицы рассеяния соединения с включенными парными фильтрами

Рассмотрим соединение четырёх регулярных линий с одинаковыми волновыми проводимостями y (рис.1).

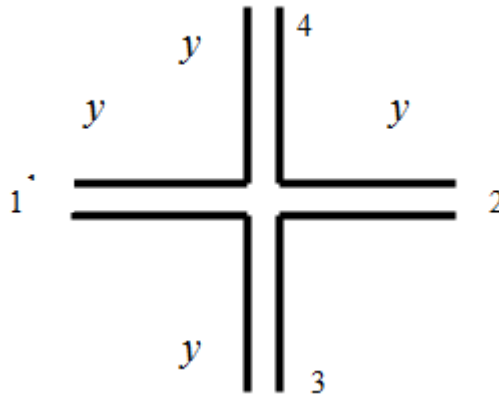


Рис.1. Соединение четырех линий

Применяя обычный аппарат матриц рассеяния [10], получаем матрицу рассеяния такого соединения при условии отсутствия диссипативных потерь:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} -0,5 & 0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & -0,5 & 0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & -0,5 & 0,5 \\ 0,5 & 0,5 & 0,5 & -0,5 \end{bmatrix}$$

Падающие a_i и выходящие b_i волны будут связаны следующими равенствами:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= -0,5a_1 + 0,5a_2 + 0,5a_3 + 0,5a_4 \\ b_2 &= 0,5a_1 - 0,5a_2 + 0,5a_3 + 0,5a_4 \\ b_3 &= 0,5a_1 + 0,5a_2 - 0,5a_3 + 0,5a_4 \\ b_4 &= 0,5a_1 + 0,5a_2 + 0,5a_3 - 0,5a_4 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Нахождение матрицы рассеяния соединения, в котором в два боковых плеча включены фильтры с входными коэффициентами отражения S_i , $i=3,4$, проведем последовательно, рассматривая соединение сначала с одним, а затем и другим фильтром.

При подключении фильтра в плечо 4 (без промежуточной линии, непосредственно к месту стыка) $a_4 = S_4 b_4$, и из четвертого уравнения системы (1) получаем :

$$b_4 = (a_1 + a_2 + a_3) / (2 + S_4).$$

Подставляя это выражение в первые три уравнения системы (1), после преобразования находим:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= -\frac{1}{2+S_4}a_1 + \frac{1+S_4}{2+S_4}a_2 + \frac{1+S_4}{2+S_4}a_3 \\ b_2 &= \frac{1+S_4}{2+S_4}a_1 - \frac{1}{2+S_4}a_2 + \frac{1+S_4}{2+S_4}a_3 \\ b_3 &= \frac{1+S_4}{2+S_4}a_1 + \frac{1+S_4}{2+S_4}a_2 - \frac{1}{2+S_4}a_3 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При подключении фильтра в плечо 3 $a_3 = S_3 b_3$, и из третьего уравнения системы (2) получаем:

$$b_4 = \frac{1+S_4}{2+S_3+S_4}(a_1 + a_2).$$

Подставляя это выражение в первые два уравнения системы (2), получаем:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= \frac{S_3 S_4 - 1}{2+S_3+S_4}a_1 + \frac{(1+S_3)(1+S_4)}{2+S_3+S_4}a_2 \\ b_2 &= \frac{(1+S_3)(1+S_4)}{2+S_3+S_4}a_1 + \frac{S_3 S_4 - 1}{2+S_3+S_4}a_2 \end{aligned} \right\}.$$

Из этой системы получаем, что коэффициент передачи такого соединения, включающего пару параллельных фильтров (см. рис.2), имеет вид:

$$S_{21} = \frac{(1+S_3)(1+S_4)}{2+S_3+S_4}.$$

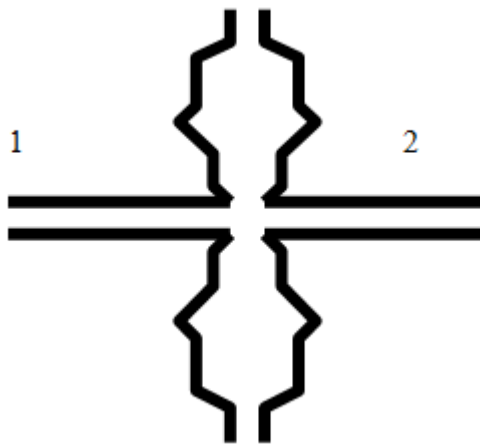


Рис.2. Парное соединение фильтров

В частных случаях, когда

$$1) S_3 = -S_4 = S \quad S_{21} = \frac{1-S^2}{2},$$

2) $S_3 = -1$ $S_{21} = 0$, т.к. в плече 3 короткое замыкание,

$$3) S_3 = 1 \quad S_{21} = \frac{2(1+S_4)}{3+S_4} \text{ т.к. плечо 3 разомкнуто,}$$

и, наконец,

$$4) \text{ при } S_3 = S_4 = S$$

$$S_{21} = \frac{1+S}{2}, \quad (3)$$

то есть получаем такое же выражение, как и в [9], но при наличии двух фильтров и симметричном соединении. Отметим, что только в случае 4) мы получаем линейную зависимость S_{21} и S .

Эту связь получаем в следующем виде:

$$S = 2S_{21} - 1. \quad (4)$$

Последнее выражение можно использовать для синтеза боковых фильтров по заданной зависимости $S_{21}(\omega)$. По найденной из (4) зависимости $S(\omega)$ синтезируем нерегулярную линию фильтров в частотной области.

Ограничения

Отметим, что из анализа (4) получено, что существуют ограничения на реализуемую характеристику $S_{21}(\omega)$. Из условия $|S(\omega)| < 1$ следует, что

$$|2S_{21}(\omega) - 1| < 1.$$

Из этого неравенства получаем, что

$$|S_{21}(\omega)| < \cos \varphi_{21}(\omega)$$

На рис.3 показана область существования коэффициента передачи такого соединения

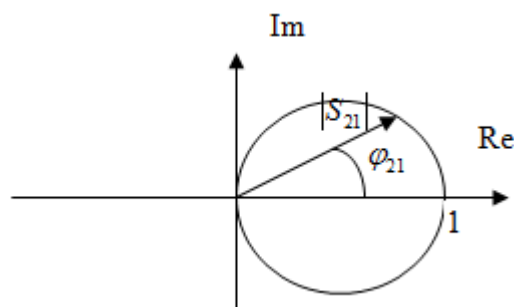


Рис.3 Область существования коэффициента передачи

Временная область

Применяя обратное преобразование Фурье к выражению (3), находим импульсную характеристику парного соединения фильтров:

$$g_{21}(t) = \frac{g(t) + \delta(t)}{2}. \quad (4)$$

При синтезе фильтров во временной области нужно задавать их импульсную характеристику $g(t)$, которую находим из (4):

$$g(t) = 2g_{21}(t) - \delta(t).$$

Сигнал на выходе соединения определяется как свертка импульсной характеристики $g_{21}(t)$ с падающим на вход сигналом и состоит из полусуммы сигнала, отраженного от фильтров и падающего сигнала.

Рассмотрим сигнал на выходе парного соединения фильтров, согласованных с падающим на него СШП сигналом в виде моноцикла (одного периода колебания). Отдельные микрополосковые фильтры были синтезированы во временной области и имеют вид, изображенный на рис.4..

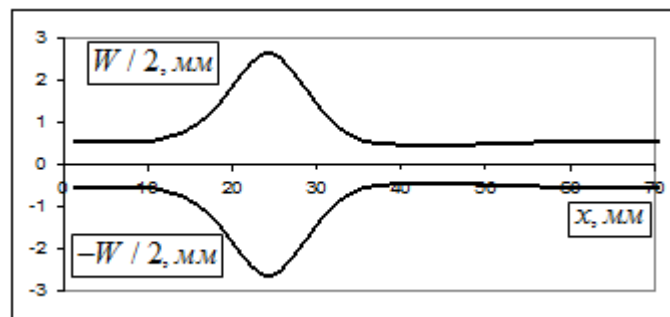


Рис.4. Конфигурация одного из боковых фильтров

Эти фильтры соединены в пары по примеру рис.2. На рис.5 показаны падающий сигнал единичной амплитуды и прошедший сигнал (по горизонтальной оси k - номера отсчетов сигналов). Фильтры обеспечивают 25 % отражения мощности падающего сигнала.

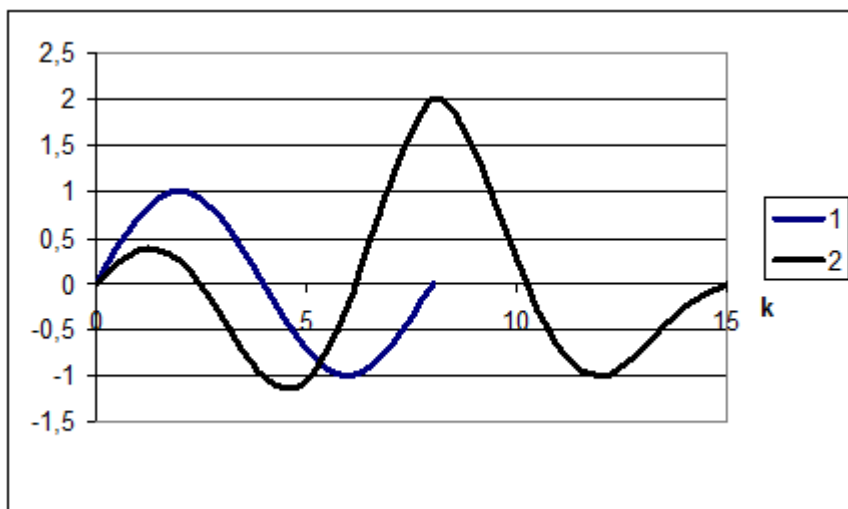


Рис.5. Падающий сигнал (кривая 1) и прошедший сигнал(кривая 2)

Видно, что прошедший сигнал представляет собой несколько искривленную в первой половине автокорреляционную функцию падающего сигнала. Однако это искривление не повлияло на величину ее пика, пропорциональную энергии падающего сигнала.

Выводы

Применение парных параллельных фильтров позволяет уменьшить волновое сопротивление линии в месте их подключения и уменьшить возможность возбуждения высших типов колебаний в месте стыка. Показано, что при одинаковых фильтрах требования к их входному коэффициенту отражения аналогичны требованиям к таковому при одиночном параллельном фильтре. Найдены выражения, способствующие синтезу таких соединений. Показана возможность согласованной фильтрации сверхширокополосных сигналов при работе «на проход» в таких соединениях.

Список литературы

1. Чернышев С.Л., Виленский А.Р. Анализ и синтез сверхширокополосных устройств в частотной области // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2009. Спец. вып. Антенны и устройства радио- и оптического диапазонов. С. 150-156.
2. Виленский А.Р., Чернышев С.Л. Анализ дисперсионных характеристик погонных параметров элементарных отрезков сверхширокополосных балансных печатных щелевых антенн бегущей волны // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 4. С. 201-216. DOI: [10.7463/0413.0548171](https://doi.org/10.7463/0413.0548171)
3. Бондаренко А.С., Мещанов В.П., Шикова Л.В. Сверхширокополосные направленные ответвители, не содержащие скачкообразных неоднородностей // Антенны. 2011. № 11. С. 31-35.
4. Базлов Н.Н., Мещанов В.П., Шикова Л.В. Сверхширокополосные фазовращатели на основе плавной неоднородной одиночной линии передачи // Антенны. 2011. № 1. С. 37-43.
5. Чернышев С.Л. Решение дифференциального уравнения плавной нерегулярной линии передачи с Т-волнами // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2009. № 1. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/114209.html> (дата обращения 01.09.2015).
6. Виленский А.Р., Чернышев С.Л. Численный метод синтеза нерегулярных недиссипативных линий с Т-волнами в частотной области // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2009. № 2. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/114482.html> (дата обращения 01.09.2015).

7. Avdushin A.S., Ashikhmin A.V., Negrobov V.V., Pasternak Yu.G., Fedorov S.M. Vivaldi antenna with printed lens in aperture // Microwave and Optical Technology Letters. 2014. Vol. 56, no. 2. P. 369-371.
8. Авдеев В.Б., Ашихмин А.В., Некрылов В.М., Пастернак Ю.Г. Моделирование сверхширокополосных печатных щелевых антенн бегущей волны // Антенны. 2006. № 8. С. 50-55.
9. Чернышев С.Л. Обработка сверхширокополосных сигналов на параллельных структурах // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 3. С. 184-192. DOI: [10.7463/0315.0762518](https://doi.org/10.7463/0315.0762518)
10. Маттей Д.Л., Янг Л., Джонс Е.М.Т. Фильтры СВЧ, согласующие цепи и цепи связи. В 2 т. Т. 1 / пер. с англ. под ред. Л.В. Алексеева и Ф.В. Кушнера. М.: Связь, 1971. 440 с.

The Application of Paired Parallel Filters for Ultra-Wideband Signal Processing

S.L. Chernyshev^{1,*}

* chemshv@bmstu.ru

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: ultra-wideband signal, matched filtering, parallel line, signal processing, irregular line

The paper considers a unit in which the parallel filters on regular lines are pair-attached. This connection allows to reduce a side line impedance at the point of connection. At the same time these lines become narrow, and the possibility to excite higher modes in the joint reduces.

Consider the scattering matrix of four identical lines connection. Then find the scattering matrix of connection in which two side lines are connected with filters. Particular cases of the reflection coefficients of different filters are considered. It is shown that only in the case of identical filters there remained a linear relationship between the input filter coefficients of reflection and transmission coefficient of the unit. It facilitates the solution of the problem of synthesis. Restrictions on the transfer coefficient are found. In transition to the time domain impulse response of connection under consideration and the expression for the synthesis were defined. The paper considers an example of implementation of the matched filtering in this connection. In this case, the output signal is a half-sum of the input signal and their autocorrelation function.

References

1. Chernyshev S.L., Vilenskii A.R. Analysis and Synthesis of Super Wideband Devices in Frequency Range. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie = Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Ser. Instrument Engineering*, 2009, spec. iss. *Antennas and devices in the optical and radio range*, pp. 150-156. (in Russian).
2. Vilenskii A.R., Chernyshev S.L. Analysis of dispersion characteristics of linear elements' line parameters of UWB balanced printed cavity antennas of a travelling wave. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 4, pp. 201-216. DOI: [10.7463/0413.0548171](https://doi.org/10.7463/0413.0548171) (in Russian).
3. Bondarenko A.S., Meshchanov V.P., Shikova L.V. Superwide-Band Directional Couplers without Step Nonuniformities. *Antenny = Antennas*, 2011, no. 11, pp. 31-35. (in Russian).
4. Bazlov N.N., Meshchanov V.P., Shikova L.V. Superwide-band Phase Shifters on Nonuniform Single Transmission Lines. *Antenny = Antennas*, 2011, no. 1, pp. 37-43. (in Russian).

5. Chernyshev S.L. The decision of the differential equation of a smooth irregular line of transfer with T-waves. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2009, no. 1. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/114209.html> , accessed 01.09.2015. (in Russian).
6. Vilenskii A.R., Chernyshev S.L. Numerical method of synthesis irregular недиссипативных lines with T-waves in frequency area. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2009, no. 2. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/114482.html> , accessed 01.09.2015. (in Russian).
7. Avdushin A.S., Ashikhmin A.V., Negrobov V.V., Pasternak Yu.G., Fedorov S.M. Vivaldi antenna with printed lens in aperture. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2014, vol. 56, no. 2, pp. 369-371.
8. Avdeev V.B., Ashikhmin A.V., Nekrylov V.M., Pasternak Yu.G. Modelling of superwideband printed slot-hole aerials of running wave. *Antenny = Antennas*, 2006, no. 8, pp. 50-55. (in Russian).
9. Chernyshev S.L. The Processing of Ultra-Wideband Signals on Parallel Structures. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2015, no. 3, pp. 184-192. DOI: [10.7463/0315.0762518](https://doi.org/10.7463/0315.0762518) (in Russian).
10. Matthaei G.L., Young L., Jones E.M.T. *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*. McGrawHill, 1964. 1096 p. (Russ. ed.: Matthaei G.L., Young L., Jones E.M.T. *Fil'try SVCh, soglasuyushchie tsepi i tsepi svyazi. V 2 t. T. 1*. Moscow, Sviaz' Publ., 1971. 440 p.).