

Сверхвысокочастотные корректоры амплитудно-частотных характеристик

Рассмотрены, согласованные в диапазоне частот, корректоры амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) на отрезках микрополосково-щелевой линии и на отрезках микрополосковой линии с использованием сосредоточенных элементов. Предложены конструкции и приведены примеры использования корректоров АЧХ.

Ключевые слова: микрополосково-щелевая линия.

Корректоры АЧХ это пассивные сверхвысокочастотные устройства (СВЧ) устройства, согласованные в рабочем диапазоне частот, ослабление которых зависит от частоты по определенному закону. Корректоры АЧХ используются:

- для уменьшения частотной неравномерности АЧХ трактов СВЧ в широкой полосе частот, а также отдельных СВЧ устройств, например, усилителей СВЧ. Коэффициент передачи трактов обычно уменьшается с ростом частоты, поэтому необходимо в тракты вводить корректор с обратным ходом АЧХ, так чтобы суммарная АЧХ имела минимальную частотную неравномерность. Для усилителей на лампах бегущей волны (ЛБВ) требуется корректор, уменьшающий входную мощность на входе в середине рабочего диапазона частот.

- в качестве поглощающего фильтра, для подавления паразитного сигнала на заданной частоте без его отражения.

- для выравнивания частотной характеристики переходного ослабления направленного ответвителя со слабой связью на связанных линиях с укороченной областью связи.

Микрополосковые ответвители на связанных линиях имеют направленность только при малом зазоре, при этом проблематична реализация слабой связи 20-40 дБ. Предлагается укорачивать область связи ответвителя с малым зазором $S = 0,05-0,1$ мм до получения на нижней частоте требуемого переходного ослабления. При этом переходное ослабление ответвителя уменьшается с ростом частоты и это уменьшение можно скомпенсировать корректором АЧХ, ослабление которого растет с ростом частоты.

Корректоры могут быть выполнены на общей плате интегрального СВЧ устройства, или виде отдельного устройства. Обычно корректоры строятся в виде полоскового шлейфа подключенного к линии через резистор, при этом максимум ослабления наблюдается на частоте, где входное сопротивление шлейфа равно нулю. На этой частоте, одновременно с увеличением ослабления растет коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН). Для получения большой величины перепада ослабления при приемлемой величине КСВН используются вентили [1] или трехдецибелные направленные ответвители на связанных линиях [2].

Ниже будут рассмотрены, предложенные нами, корректоры АЧХ, согласование которых обеспечивается при любых ослаблениях в широком диапазоне частот без использования дополнительных устройств. Это корректоры на сочетании микрополосковой и щелевой линий и корректоры на микрополосковой линии с сосредоточенными элементами (СЭ).

Корректор на сочетании микрополосковой и щелевой линий представляет собой [3] микрополосковую линию, соединяющую вход и выход, к которой подключен через резистор R1 разомкнутый шлейф. В металлическом основании вдоль оси шлейфа выполнена щелевая линия, в которой включен второй резистор R2. Здесь реализуется схема одновременного включения параллельного и последовательного резонаторов с потерями, которая может быть согласована независимо от частоты и вносимого ослабления. Покажем это на основе анализа методом синфазно-противофазного возбуждения для четырехполюсников. Условие согласования имеет вид:

$$Y_{кз} = Z_{xx} \quad (1)$$

где: $Y_{кз}$, Z_{xx} - нормированные входные проводимость и сопротивление двухполюсников, образованных из четырехполюсника при коротком замыкании (КЗ) и холостом ходе (ХХ) в плоскости симметрии.

При выполнении условия (1) коэффициент передачи определяется по формуле:

$$S_{12} = (Z_{xx} - 1) / (Z_{xx} + 1) \quad (2)$$

В рассматриваемом корректоре плоскость симметрии проходит через ось шлейфов, при этом:

$$Z_{xx} = 2R_1 - j2 Z_{п} \operatorname{Ctg} Q_{п} \quad (3)$$

$$Y_{кз} = (2/R_2) - j2 Y_{щп} \operatorname{Ctg} Q_{щп} \quad (4)$$

где: R_1 , R_2 - нормированные сопротивления резисторов; $Z_{п}$, $Y_{щп}$ - нормированные сопротивление и проводимость шлейфов в режиме холостого хода и короткого замыкания в плоскости симметрии; $Q_{п}$, $Q_{щп}$ - электрические длины указанных шлейфов.

Видно, что при $R_1 R_2 = 1$ и $Z_{п} = Y_{щп}$, корректор согласован во всем диапазоне частот. Максимальное ослабление L , дБ на резонансной частоте (при электрической длине шлейфов $Q = 90$ град.) определяется сопротивлением R1 по формуле:

$$L, \text{дБ} = 20 \lg(2R_1 - 1) / (2R_1 + 1) \quad (5)$$

Полное поглощение имеет место при $R_1 = 0.5$, $R_2 = 2$. Минимальное ослабление корректора равно 0 дБ, на частотах, где $Q = 0$; 180; 360 град. АЧХ корректора имеет участки с положительным и отрицательным наклоном, величина которого регулируется выбором сопротивлений R1, R2. Участок АЧХ, где потери уменьшаются, не превышает октавы, что затрудняет использование корректора для выравнивания АЧХ трактов. Корректор удобен для контролируемого и согласованного увеличения или уменьшения ослабления в середине диапазона частот. Конструкция и АЧХ корректора с увеличением ослабления в середине диапазона частот приведены на рисунке 1.

Разработаны корректоры для обеспечения оптимальной входной мощности усилителя на ЛБВ, оптимальная входная мощность которого зависит от частоты. При разработке корректоров, на основе анализа АЧХ полоскового и щелевого шлейфа, определялись значения поправок в сопротивления корректора, обусловленные добротностью шлейфов. Установлено, что из-за влияния добротности шлейфов, сопротивление R1 надо уменьшать на 5 Ом, сопротивление R2 увеличить на 15 Ом. Максимальные потери корректора могут быть очень большими даже при низкодобротных шлейфах. Также менялась форма щелевого резонатора с прямой щелью и с расширенной щелью, имитирующей разомкнутый конец, для уменьшения длины и формирования требуемой АЧХ. Разработана конструкторская документация (КД) и

изготовлены опытные образцы различных корректоров. Плата поликор 6x7,5 мм, установлена в корпусе с разъёмами СРГ-50-751 ФВ. Применение корректора позволило обеспечить требуемый режим работы выходного усилителя на ЛБВ.

Корректор такого типа использовался также для выравнивания переходного ослабления ответвителя контроля проходящей мощности на 18 дБ, при этом использовался «падающий участок» АЧХ. Использование корректора в ответвленном плече ответвителя позволило получить неравномерность переходного ослабления 0,5 дБ в полосе частот с перекрытием 1,5.

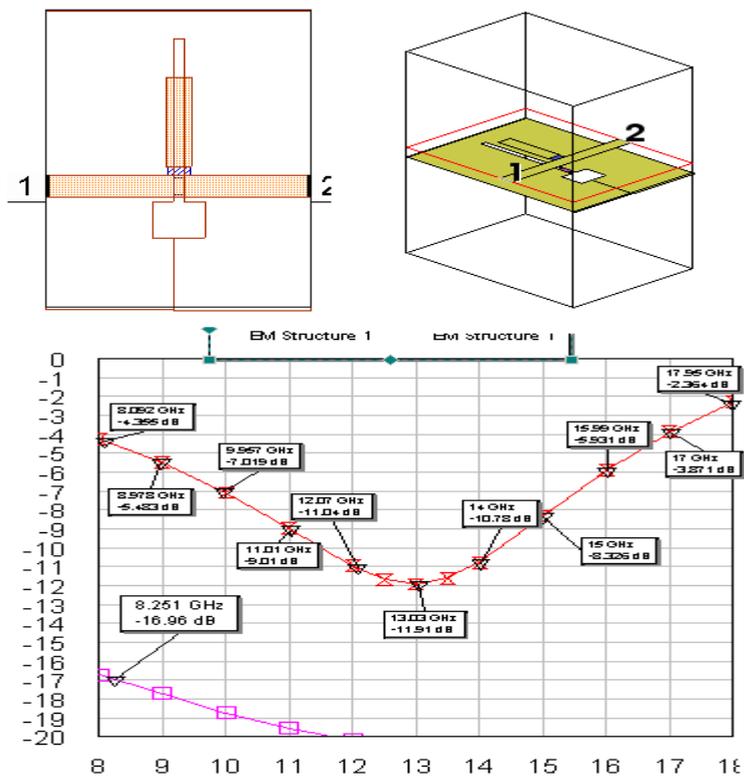


Рисунок 1.

Выше был рассмотрен корректор с одним резистором в шлейфах на микрополосковой линии (МПЛ) и щелевой линии (ЩЛ), при этом тип АЧХ определен. В [4] нами предложено устанавливать в шлейфах несколько резисторов, что позволит получить практически любую АЧХ. В [5] предложен узкополосный поглощающий фильтр на этом принципе, в котором микрополосковый шлейф подключен через ёмкость, а щелевой полуволновый резонатор пересекает передающую линию с небольшим перекрытием. В [6] предложен направленный фильтр на микрополосково-щелевом резонаторе, который использовался нами в качестве частотного разветвителя с функцией коррекции падающей АЧХ.

Корректор АЧХ на микрополосковой линии со сосредоточенными элементами представляет собой П или Т звено аттенуатора на резисторах R1 – R3, в котором вход и выход дополнительно соединены через реактивную проводимость Y, а корпус через дуальное реактивное сопротивление Z. Для определенности далее рассмотрим П-звено с общим замыкающим реактивным сопротивлением Z.

Метод анализа по производным двухполюсников дает:

$$Y_{к3} = j2Y + (2/R_2) + 1/R_1 \quad (6)$$

$$Z_{xx} = R_1 + j2Z \quad (7)$$

Корректор согласован при:

$$R_2=2R_1/(R_1^2-1), Y=Z, \quad (8)$$

при этом коэффициент передачи S_{12} равен

$$S_{12}=(R_1-1+j2Z)/(R_1+1+j2Z) \quad (9)$$

Минимум S_{120} при $Z=0$ равен

$$S_{120}=(R_1-1)/(R_1+1) \quad (10)$$

Максимум $S=1$ (0 дБ), при $Z=999$.

Используя в качестве Z параллельный контур ($f_{рез.}=f_{верх.}$), а Y – дуальный последовательный контур, получим увеличивающийся с ростом частоты коэффициент передачи (до 0 дБ на $f_{верх.}$), для компенсации потерь в трактах. При этом диапазон частот компенсации не ограничен. Наклон АЧХ определяется сопротивлением R_1, R_2 и нагруженной добротностью контуров. Для получения падающей АЧХ, Y -индуктивность, Z -емкость.

Приведенные формулы предназначены для общего анализа, конкретное проектирование и оптимизацию можно производить путем анализа АЧХ схемы или топологии корректора. Возможно получение выпуклой и вогнутой АЧХ на заданных участках диапазона частот.

В рамках различных работ был спроектирован ряд корректоров: корректор № 1 с минимумом потерь на верхней частоте и заданном уровне (8 дБ и 12 дБ) на нижней; корректор № 2 в диапазоне промежуточной частоты (ПЧ) для коррекции частотной неравномерности АЧХ многокаскадного усилителя; корректор № 3 для ответвителя контроля проходящей мощности с переходным ослаблением 36 дБ. Использовался ответвитель с очень короткой областью связи, переходное ослабление которого уменьшается с ростом частоты. В ответвленном плече ответвителя установлен корректор на СЭ, ослабление которого растет с ростом частоты. В результате ответвитель при ослаблении 36 дБ имеет частотную неравномерность 1,0 дБ в диапазоне частот с перекрытием 13. Индуктивность в прямом плече и емкость на корпус выполнялись на покупных элементах.

В корректорах №№ 1, 2 в качестве параллельного контура использовался четвертьволновый КЗ шлейф, в качестве последовательного контура две сосредоточенные емкости, между которыми включена индуктивность (в корректоре № 1 – в виде перемычки малой длины, в корректоре № 2 – в виде высокоомного отрезка линии). В корректоре № 1 использовался конденсатор К10-71 0,56, 1,0 пФ, в корректоре № 2 – К10-17. Конструктивно корректоры № 1 выполнены (смотри рисунок 2 а, б – Топология и АЧХ корректора с последовательным контуром на конденсаторах) на плате поликор толщиной 0,5 мм, 7,5х6,0 мм². Плата устанавливалась в круглом точеном корпусе, где выполнены разъемы сечения 3,5х1,52 мм², вход-вилка, выход-гнездо. Замыкание шлейфа фольгой через торец. Резисторы, напыленные в зазоре 0,2 мм. Конденсаторы К10-71 располагались рядом, между верхними обкладками, индуктивность в виде перемычки минимальной длины (0,25 мм) для F_1 . Перемычка для ($F_2 < F_1$) в виде петли из фольги 0,3 мм. Для формирования петли в корректоре, конденсаторы раздвигались на расстояние 0,7 мм. Эти корректоры устанавливаются в коаксиальные тракты и кроме того в виде плат в многофункциональные СВЧ устройства.

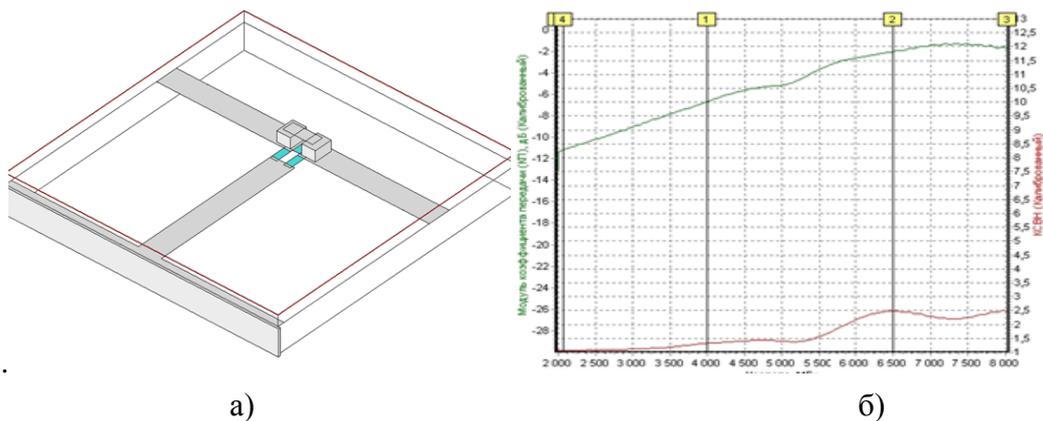


Рисунок 2.

Таким образом, из всего вышесказанного следует, что: корректоры АЧХ необходимый элемент при построении широкополосных трактов, при чем нужны как самостоятельные устройства, так и в составе интегральных устройств; рассмотренные корректоры, дополняют друг друга и имеют общее преимущество: согласованы во всем диапазоне частот; узкополосный поглощающий фильтр с высоким уровнем поглощения реализуется на комбинации микрополоскового и щелевого шлейфов; применение корректоров позволяет реализовать ответвитель со слабой связью с малой частотной неравномерностью; разработаны КД разных типов корректоров, имеющих малые габариты.

Библиографический список

1. Пат №20733999 Российская федерация, МКП Н 01 Р 1/00. Корректор амплитудно- частотных искажений / Вахтин Ю.В., Капкин С.П., Бубякин И.В. Оpubл. 20.02.1997.
2. Пат №2238605 Российская федерация, МКП Н 01 Р 3/08, Н01Р1/18, Н01Р1/22. Управляемый микрополосковый корректор наклона АЧХ / Вахтин Ю.В., Капкин С.П., Прищенко А.М., Токарева Н.В. Оpubл. 20.10.2004.
3. А.С.СССР № 1592884 МКП Н 01 Р 1/203,1/22. Амплитудный корректор / Петренко В.П., Оpubл. 15.09.1990.
4. Пат РФ № 2033666 МКП Н 01 Р 1/203,1/22. Поглощающий амплитудный корректор / Петренко В.П., Оpubл. 20.04.95.
5. А.С.СССР №1762348 МКП Н 01 Р 1/20. Поглощающий фильтр / Петренко В.П. Оpubл. 15.09.1992.
6. А.С.СССР №1617495 МКП Н 01 Р 1/20. Направленный фильтр / Петренко В.П. Оpubл. 30.12.90.