Референсы:

* Трёзвенный сумматор: <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/19/2332>
* Мультисекционная линия: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7556295>

Существует итерационный подход к получению параметров трёхсекционного сумматора, опирающийся на аналитические выражения [1]. Также описанный подход опирается на двухдиапазонную концепцию, которая заключается в следующем: на рисунке 1,

Изображение выглядит как линия, диаграмма, текст, Шрифт

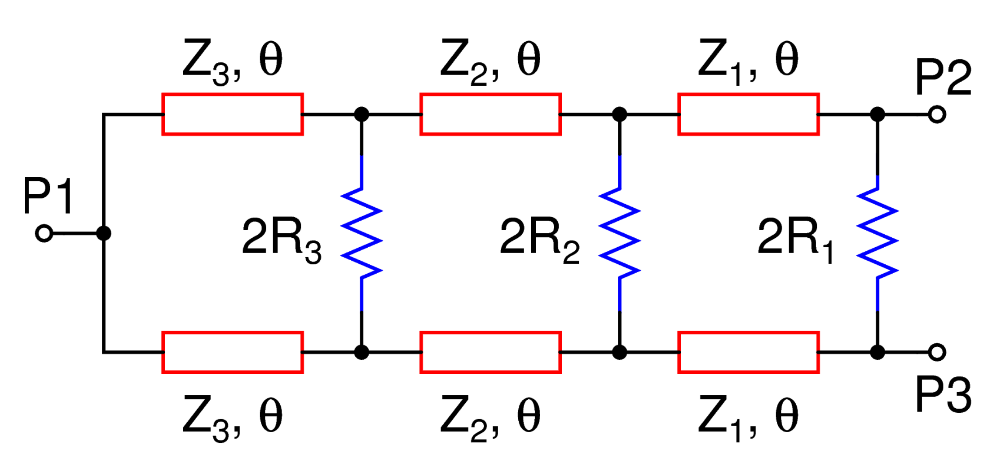
Автоматически созданное описание

Рисунок

использования этой концепции гарантирует, что полоса пропускания представляется через формулу

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где *2fex* представляется как дополнительная полоса для учитывания погрешностей элементов и вычислений. Такой подход часто используют в разработке, где минимальным требованием к полосе является (f2-f1), но также остается запас *2fex* для обеспечения запаса и нивелирования различных ошибок и погрешностей проектирования.



Рисунок

Здесь и далее будут использовать следующие термины и обозначения для описания сумматора и аналитических выражений для его описания.

* Zn – волновое сопротивление линии;
* 𝜃 – электрическая длина линии;
* Rn – изолирующие или баластные сопротивления;
* Yn – проводимость линии.

Так как сумматор является симметричным относительно горизонтальной оси устройством, для его анализа можно использовать метод четных и нечетных мод. Еквивалентные схемы для анализа при помощи этих методов представлены на рисунке

Изображение выглядит как диаграмма, линия, Шрифт, График

Автоматически созданное описание

Рисунок

**Анализ четных мод**

Видно, что эквивалентная схема для метода четных мод представляет из себя несекционную линию с элементами разной электрической длинны и волнового сопротивления. Аналилитические выражения для такого случая известны [2] и представляют из себя следующее выражение:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где p1 выражается как:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Выражения для Z3 моет быть получено из уравнения четвертого порядка, имеющего следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где коэффициенты входящие в уравнения:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Найти корни представленного уравнения рациональнее всего, используя пакеты математического моделирования. Далее будут рассматривать только положительные и действительные корни, полученные в ходе решения уравнения. Корни будут использованы для нахождения Z2 из выражения выше.

Для итерационного поиска Z2 волновое сопротивление Z1 предлагается выбрать произвольно в диапазоне от 20 до 120 Ом. Такой диапазон предложен из конструктивных соображений, так как сопротивление напрямую связано с шириной дорожки диэлектрика. Исходя из используемого в работе диэлектрика рационально использовать этот диапазон, если брать сопротивление выше 120, то дорожка получится слишком узкая, что вызовет сложности при изготовлении печатной платы, если выбрать сопротивление ниже 20 Ом, то дорожка, наоборот, окажется достаточно широкой, из-за чего будет сложнее выполнить кольцевую структуру сумматора. Предложенный диапазон может корректироваться исходя из параметров диэлектриков и технологических возможностей производства печатных плат.

Для расчета электрической длинны 𝜃 можно использовать формулу:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Таким образом предложенных данных достаточно для поиска волновых сопротивлений, исходя из заданной полосы пропускания сумматора.