

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СВЧ-АТТЕНУАТОРЫ С МИНИМАЛЬНОЙ
НЕРАВНОМЕРНОСТЬЮ АЧХ ВНОСИМОГО ЗАТУХАНИЯ**

Основным требованием, предъявляемым к широкополосным отсчетным СВЧ-аттенуаторам, является обеспечение заданной неравномерности затухания в рабочей полосе частот. Электрически управляемые аттенуаторы, выполненные по цепочечной схеме с эквидистантным расположением диодов, характеризуются значительной неравномерностью частотной характеристики и относительно узкой полосой рабочих частот [1]. Вопросы уменьшения частотной неравномерности вносимого затухания цепочечных аттенуаторов рассмотрены в работах [2, 3], где приведены результаты исследования влияния длин отрезков линий между диодами на вид частотной характеристики затухания. Однако полученные [2, 3] результаты не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к современным отсчетным аттенуаторам. В связи с этим нами исследована оптимизация характеристик аттенуаторов с цепочечным включением диодов. С этой целью разработаны алгоритмы и программы анализа полупроводниковых аттенуаторов с цепочечным включением диодов на малых инженерных ЭВМ. Электрические характеристики аттенуатора определялись известными методами анализа линейных цепей СВЧ-диапазона с использованием поисковых методов анализа многоэкстремальных однопараметрических функций.

Исследования показали, что для получения АЧХ вносимого затухания аттенуатора с тремя экстремумами (против одного, при эквидистантном расположении диодов) необходимо ввести между сред-

ними диодами отрезок линии передачи, равный половине длины волны. Это позволяет, например, для аттенюатора на шести диодах в октавной полосе при среднем уровне затухания 42 дБ улучшить неравномерность его частотной характеристики с $\pm 1,2$ дБ до $\pm 0,13$ дБ. Результаты численного анализа аттенюаторов позволили

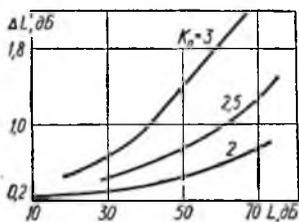


Рис. 1. Минимально возможные отклонения ослабления от среднего уровня в полосе K_n

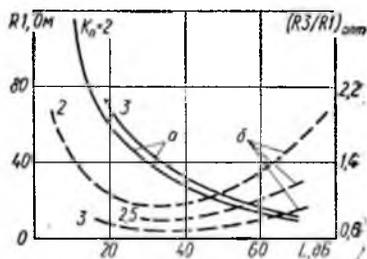


Рис. 2. Зависимость сопротивлений диодов Д1, Д2, Д5, Д6 (а) и зависимость отношений сопротивлений диодов (б) от ослабления при минимальной неравномерности в полосе K_n ($R_3-R_4, R_1-R_2-R_5-R_6$)

сделать также вывод о том, что необходимый для отсчетных устройств вид частотной характеристики затухания можно получить, регулируя соотношение между значениями сопротивлений диодов аттенюатора, т. е. соотношения управляющих токов. Эта задача решалась с помощью модифицированного метода Пауэлла [4].

Результаты численного счета для аттенюатора на шести диодах с полуволновым расстоянием между двумя средними диодами представлены на рис. 1, 2 и могут быть использованы для проектирования отсчетных аттенюаторов с минимальным отклонением характеристики вносимого затухания от заданного уровня в пределах $0 \div \div 70$ дБ для диапазонов частот с перекрытием от 2 до 3. Для этого из зависимостей, приведенных на рис. 1, по заданному уровню затухания и полосе частот определяем минимально возможное отклонение ослабления от среднего уровня ΔL . Затем из зависимостей, приведенных на рис. 2, для заданного уровня затухания и полосы частот определяем необходимое динамическое сопротивление диодов и отношение динамических сопротивлений крайних и средних диодов.

В качестве примера приведем одно сравнение, подчеркивающее необходимость и эффективность оптимизации характеристик аттенюатора подбором сопротивлений диодов. Так, если в рассматриваемой схеме шестидиодного аттенюатора сопротивления всех диодов равны, то при среднем затухании 50 дБ неравномерность в октавной полосе частот составляет $\pm 0,35$ дБ, а при оптимальном соотношении $(R_3/R_1) = 1,1$ — $\pm 0,2$ дБ. В целом в октавной полосе частот мини-

мальная неравномерность вносимого затухания вплоть до 60 дБ не превышает $\pm 0,5$ дБ, что позволяет считать attenuаторы с цепочечным включением диодов перспективными для использования в качестве отсчетных устройств. Это и было подтверждено при проектировании предложенным методом широкополосного отсчетного attenuатора диапазона 8,0 — 10,0 ГГц.

1. Дзехцер Г. Б., Орлов О. С. *p — i — n*-Диоды в широкополосных устройствах СВЧ. М., Сов. радио, 1970. 200 с. 2. Бова Н. Т. и др. Управляющие устройства СВЧ. Киев, Техніка, 1973. 164 с. 3. Перлин Б. Г., Савченко С. М. Согласование широкополосных attenuаторов на *p — i — n*-диодах в дециметровом диапазоне длин волн.— Полупроводниковые приборы и техника электросвязи, 1975, вып. 15, с. 147—153. 4. Трохименко Я. К., Каширский И. С., Ловкий В. К. и др. Проектирование радиотехнических схем на инженерных ЭВМ. Киев, Техніка, 1976, 272 с.

Поступила в редколлегию 29.09.79

S. B. Mogilnyj, A. L. Zaslavec

MICROWAVE SEMICONDUCTOR ATTENUATORS WITH MINIMUM
FREQUENCY RESPONSE INEQUABILITY ATTENUATION

A method of the microwave semiconductor attenuators design is proposed.