

большую часть переносимой мощности. Выбор размеров волокна должен осуществляться из условий возбуждения основной моды и технологии изготовления волокна.

Список литературы: 1. Носов Ю. Р. Тенденции развития оптоэлектронной техники обработки, передачи и отображения информации//Зарубеж. радиоэлектроника. 1984. № 9. С. 3—42. 2. Унгер Х. Г. Плоскостные и волоконные оптические волноводы. М., 1980. 656 с.

Поступила в редколлегию 16.12.85.

УДК 621.372

Д. С. ДЕНИСОВ, канд. физ.-мат. наук, Б. Д. ТРУФАНОВ, В. Ф. УЖИК,
Е. А. ШАУЛОВ

СОГЛАСОВАНИЕ МИКРОПОЛОСКОВЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА $p-i-n$ -ДИОДАХ

При конструировании управляющих устройств, регулирующих уровень проходящей мощности СВЧ, требование минимальности коэффициента стоячей волны (КСТ) со входа в разных режимах работы — одно из основных.

Существуют различные схемы электрически управляемых устройств СВЧ [1]. При работе в динамическом режиме увеличение входного сопротивления устройства приводит к недопустимому росту коэффициента стоячей волны на входе. Использование развязывающих устройств (вентилей, циркуляторов) нежелательно из-за сравнительно больших потерь (0,4—0,8 дБ). Для обеспечения согласования используют схемы, имеющие цепочку диодов с сопротивлениями, например электрически управляемые аттенюаторы, использующие $p-i-n$ -диоды, включенные параллельно в линию передачи на расстоянии $\lambda_g/4$ друг от друга. Согласование аттенюатора в режиме максимального ослабления осуществляется подбором диодов таким образом, чтобы сопротивление крайних диодов было больше сопротивления диодов, расположенных ближе к центру аттенюатора. Сопротивления же диодов связаны определенными соотношениями [2].

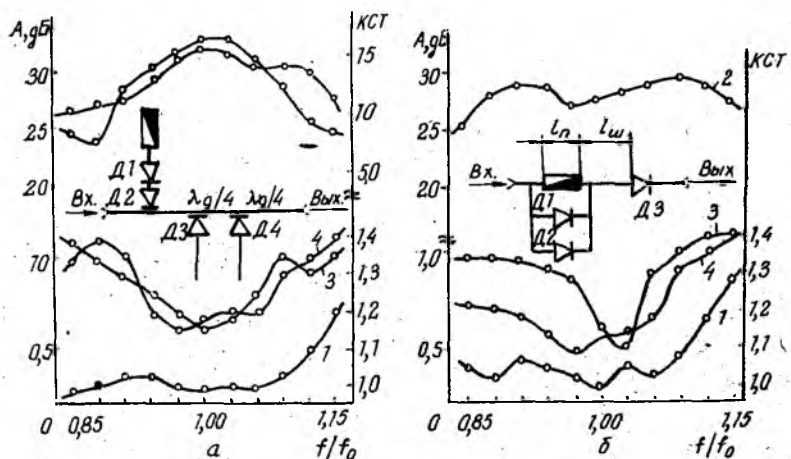
Однако такие аттенюаторы с параллельным включением диодов для расширения рабочей полосы частот требуют использования большого количества диодов с соответствующими цепями управления, что существенно усложняет устройство, снижает его надежность и повышает стоимость. Для реализации широкополосных электрически управляемых аттенюаторов применяют и более сложные схемы, например с использованием мостов Лэнжа [3; 4].

Аттенюаторы на основе моста Лэнжа имеют хорошие параметры в широкой полосе частот, но реализация их достаточно

сложна в технологическом отношении. Кроме того, настройка таких аттенуаторов связана с устранением разбаланса мостов, что само по себе не простая задача.

Рассмотрим варианты малогабаритных микрополосковых устройств, согласованных при работе в динамическом режиме.

Неотъемлемым элементом управляющих устройств является управляющая ячейка, представляющая собой линейный



четырёхполосник, имеющий два различных состояния, в одном из которых он является идеально пропускающим, во втором — идеально отражающим.

На рисунке (позиция а) изображена схема управляющей ячейки (цепи подвода управляющего смещения к диодам не показаны), к которой со стороны входа подключена согласующая ячейка. Управление проходящей СВЧ-мощностью осуществляется параллельно включенными в микрополосковую линию $p-i-n$ -диодами, отстоящими друг от друга и от точки подключения согласующей ячейки на расстоянии $\lambda_g/4$, где λ_g — длина волны в микрополосковой линии. Согласующая ячейка, представляющая собой согласованную нагрузку, подключается к микрополосковой линии последовательно включенными $p-i-n$ -диодами. При отсутствии смещения на $p-i-n$ -диодах (или при подаче обратного смещения) эти диоды заперты, согласованная нагрузка отключена и сигнал практически без ослабления проходит на выход. При подаче прямого смещения на диоды их сопротивление снижается, входное сопротивление четвертьволнового отрезка линии между точкой подключения согласующей ячейки и диодом стремится к бесконечности и входной канал через открытые $p-i-n$ -диоды согласующей ячейки подключается к согласованной нагрузке. Таким образом, обеспечивается согласование устройства при работе в динамическом режиме.

Другой вариант согласованной управляющей ячейки (рисунок, позиция б) состоит из микрополосковой линии, имеющей сопротивление 50 Ом, с последовательно включенными в нее $p-i-n$ -диодами, пленочной резистивной согласованной нагрузки и включенных параллельно к ней диодов. Пленочная резистивная согласованная нагрузка на микрополосковой линии со стороны входа управляющей ячейки образуется участком резистивной пленки и четвертьволновым разомкнутым шлейфом $l_{ш}$, являющимся отрезком микрополосковой линии между резистивной пленкой и управляющим $p-i-n$ -диодом. Длина резистивной пленки определяется из условия $l_n = \lambda_g/10$, а номинальное сопротивление $R = R_s l_n / W$, где R_s — поверхностное сопротивление резистивного участка; W — ширина резистивного элемента. Для согласования с микрополосковой линией сопротивление резистивной пленки должно соответствовать волновому сопротивлению линии. Ширина резистивного элемента выбрана равной ширине микрополосковой линии.

При подаче на $p-i-n$ -диоды прямого смещения через них протекает ток и их сопротивление, зависящее от параметров применяемых диодов, незначительно. Согласованная нагрузка шунтируется включенными параллельно к ней $p-i-n$ -диодами. При этом сигнал проходит практически без потерь. При обратном смещении (или его отсутствии) сопротивление диодов велико, прохождение сигнала прекращается и вся СВЧ-мощность поступает в согласованную нагрузку.

Управляющие ячейки подобного типа эффективны в выключателях, аттенюаторах, переключателях. Изменением управляющего смещения на $p-i-n$ -диодах можно плавно или дискретно менять вносимое в тракт затухание. Увеличение прямого смещения (рисунок, позиция а) на диодах обеспечивает введение затухания в основной канал управляющей ячейки. При этом изменение тока через $p-i-n$ -диоды приводит к изменению их сопротивления, что вызывает перераспределение мощности входного сигнала между согласующей ячейкой и выходом.

Оба варианта управляющих ячеек реализованы на ситалловых подложках ($\epsilon = 9,8$) размером $30 \times 24 \times 1$ мм. В качестве управляющих элементов используются бескорпусные $p-i-n$ -диоды типа 2А517А. Цепи подвода управляющего смещения к диодам — трехэлементные фильтры низкой частоты в микрополосковом исполнении, обеспечивающие развязку между каналом СВЧ-сигнала и цепью подвода управляющего смещения до 25 дБ. Развязка по постоянному току цепей питания $p-i-n$ -диодов и тракта СВЧ осуществляется конденсаторами типа К10-42.

Параметры устройств, работающих в режиме переключения, представлены на рисунке, где кривые 1, 2 отражают изменение затуханий в тракте СВЧ для сигнала в режимах пропускания и заграждения, кривые 3, 4 соответствуют КСТ со входа в ре-

жимах пропускания и заграждения, кривая 5 — КСТ со входа устройства в режиме заграждения без использования согласующей ячейки.

Значения КСТ со входа в зависимости от вносимого в тракт затухания в режиме аттенюатора представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

КСТ	Значение КСТ при $A_{вн}$, дБ							
	0,5	3	6	9	11	15	18	29
Без согласования	1,6	1,46	1,4	1,45	1,7	2,5	3	16
С согласованием	1,4	1,24	1,25	1,2	1,35	1,3	1,35	1,4

Таблица 2

КСТ	Значение КСТ при $A_{вн}$, дБ				
	0,5	3	6	7	28
Без согласования	1,3	1,7	1,8	2,2	5,5
С согласованием	1,3	1,25	1,3	1,35	1,4

Значения КСТ со входа в зависимости от вносимого в тракт СВЧ затухания на центральной частоте диапазона для управляющих ячеек, работающих в режиме аттенюатора, без использования и с использованием согласующей ячейки приведены в табл. 1, 2 для первого и второго вариантов устройств. Как видно из рисунка и таблиц, применение согласующей ячейки обеспечивает снижение КСТ со входа устройства до уровня, меньшего 1,4. Согласование осуществляется в 30 %-й полосе частот.

Данные устройства могут найти и другие применения.

При настройке, регулировке передатчиков и в случаях, когда излучение СВЧ-энергии нежелательно, выход передатчика переключается на согласованную нагрузку, так называемый «эквивалент антенны». Эти функции антенного переключателя без каких-либо изменений в конструкции могут выполнять описанные устройства, при этом вход устройства следует подключать к передатчику, а выход — к антенне.

Если к управляющему устройству (рисунок, позиция а) со стороны выхода на расстоянии $\lambda_g/4$ от места подключения, т. е. симметрично согласующей ячейке относительно параллельно

включенных $p-i-n$ -диодов ДЗ, Д4, $p-i-n$ -диола Д4 к основному каналу, подключить дополнительно управляющую ячейку с последовательно включенными в нее $p-i-n$ -диодами, выход которой нагрузить на вход СВЧ-приемника, такое устройство может осуществлять подключения приемника или передатчика к антенне и подключения передатчика к антенне или к «эквиваленту антенны». Устройство работает следующим образом. При отсутствии смещения (или при подаче обратного смещения) все $p-i-n$ -диоды заперты и выход передатчика подключается к антенне. При подаче прямого смещения на эти диоды антенна подключается ко входу приемника. Параллельно включенные в основной канал $p-i-n$ -диоды ДЗ, Д4 запирают канал между передатчиком и антенной, и выход передатчика нагружается на согласующую ячейку, выполняющую функции «эквивалента антенны».

Список литературы: 1. Карпов В. М., Малышев В. А., Перевоицков И. В. Широкополосные устройства СВЧ на элементах с сосредоточенными параметрами/Под ред. В. А. Малышева. М., 1984. 104 с. 2. Силаев М. А., Брянцев С. Ф. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств. М., 1970. 268 с. 3. Lange Z. Interdigitated stripline quadrature hybrid//IEEE Trans. 1969, 17. N 12. 4. Малорацкий Л. Г. Микроминиатюризация элементов и устройств СВЧ. М., 1976. 216 с.

Поступила в редколлегию 10.12.85.

УДК 621.385

А. В. ВАСЯНОВИЧ

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ МНОГОЧАСТОТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В УСИЛИТЕЛЯХ М-ТИПА С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭМИССИЕЙ

Широкое развитие средств вычислительной техники позволяет достаточно глубоко исследовать механизм взаимодействия в усилителях М-типа. Созданные численные модели, использование которых дало возможность заменить трудоемкий физический эксперимент, дают детальную информацию о работе приборов. Наиболее полно и адекватно отображают процесс взаимодействия модели, описанные в работах [1; 2; 3]. Однако большинство существующих моделей исследует одночастотный режим работы усилителей, а многочастотный режим рассматривался только со стороны усиления нескольких сигналов, поданных на вход приборов. При этом в большинстве случаев для изучения этого режима использовались аналитические и приближенные модели, которые не могут глубоко и полно описать физику происходящих в усилителях этого типа явлений. Отметим, что в литературе не приведены результаты исследо-