

МИКРОПОЛОСКОВЫЕ ОДНОРАЗРЯДНЫЕ ФАЗОВРАЩАТЕЛИ ПРОХОДНОГО ТИПА ДЛЯ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

К. т. н. Э. Н. Глушеченко

Научно-производственное предприятие «Сатурн»

Украина, г. Киев

gen-nto@ukr.net

Показана необходимость проходных фазовращателей в антенных решетках. Проведен анализ работы дискретного отражательного фазовращателя. Рассмотрены схемы реализации проходных фазовращателей циркуляторного и балансного типа.

Ключевые слова: микрополосковая линия, фазовращатель, циркулятор, ответвитель, диод.

Большинство современных цифровых радиотехнических систем СВЧ-диапазона создаются на основе активных антенных решеток — фазированных или цифровых, причем существенным элементом таких решеток являются многоразрядные дискретные фазовращатели, которые образованы на основе дискретных фазовращателей проходного типа. В настоящей работе рассмотрены варианты реализации фазовращателей этого вида на микрополосковых линиях (МПЛ).

В принципе, дискретный фазовый сдвиг (в цифровых системах — фазовую манипуляцию) определяют дискретные отражательные фазовращатели (ДОФ). Однако поскольку эти устройства — двухполюсники, создать на их основе многоразрядный фазовращатель (ФВ) практически невозможно. Такие ФВ, как правило, создаются на основе четырехполюсников — дискретных проходных ФВ (ДПФ). Соответственно, ДПФ бывают [1] двух типов — циркуляторные и балансные. Электрическая схема ДПФ циркуляторного типа приведена на рис. 1.

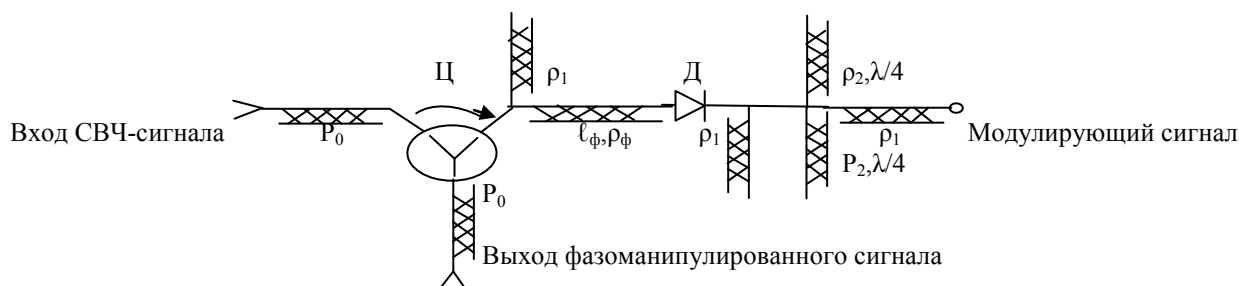


Рис. 1. Электрическая схема микрополоскового ДПФ циркуляторного типа

Из рис. 1 видно, что ДПФ такого вида реализован на базе Y-циркулятора, к одному из полюсов которого подключен ДОФ на МПЛ. МПЛ с волновым сопротивлением $\rho_0 = 50$ Ом служат для ввода и вывода СВЧ сигнала, МПЛ с волновым сопротивлением $\rho_1 = 110$ Ом — для возможности улучшения согласования (частотной подстройки) переключательного $p-i-n$ -диода и подачи на него управляющего (коммутационного) сигнала. Отрезки МПЛ четвертьволновой длины $\lambda/4$ (λ — длина волны на рабочей частоте) с волновым сопротивлением $\rho_2 = 20$ Ом в виде двух низкоомных, параллельно включенных шлейфов обеспечивают короткое замыкание $p-i-n$ -диода по СВЧ.

Принцип работы ДПФ отражательного типа на основе Y-циркуляторов достаточно прост. Поступивший на вход циркулятора немодулированный СВЧ-сигнал подается, в соответствии со структурой последнего (по стрелке), на вход ДОФ.

Фазосдвигающая цепь представляет собой отрезок МПЛ, закороченный импедансом открытого $p-i-n$ -диода. Фазовый сдвиг $\Delta\varphi_1$ определяется расстоянием (электрической длиной МПЛ) между диодом и короткозамыкателем.

Поскольку исходный СВЧ-сигнал в ДОФ проходит через фазосдвигающий отрезок МПЛ с волновым сопротивлением ρ_ϕ дважды (входной и отраженный), реальное значение длины l_ϕ такого отрезка для ДПФ четырехразрядного ФВ будет следующим: $l_1 = \lambda/4$ для $\Delta\phi_1 = 180^\circ$; $l_2 = \lambda/8$ для $\Delta\phi_2 = 90^\circ$; $l_3 = \lambda/16$ для $\Delta\phi_3 = 45^\circ$; $l_4 = \lambda/32$ для $\Delta\phi_4 = 22,5^\circ$.

СВЧ-сигнал, уже фазоманипулированный после отражения от короткозамыкателя, через выход ДОФ поступает (вновь по структуре циркулятора) на выход ДПФ циркуляторного типа.

Рассмотрим также ДПФ балансного типа, электрическая схема которого приведена на рис.2.

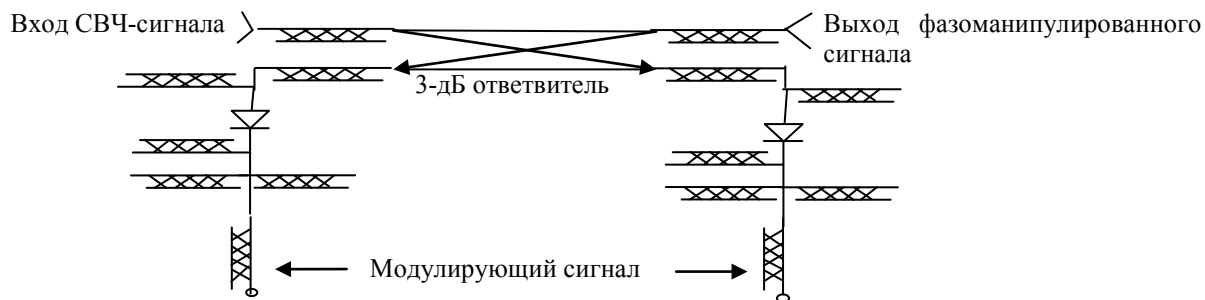


Рис. 2. Электрическая схема микрополоскового ДПФ балансного типа

Из приведенной на рис. 2 схемы видно, что ДПФ балансного типа реализован на базе 3-дБ направленного ответвителя. Исходный немодулированный СВЧ-сигнал делится поровну между двумя его полюсами, к которым в качестве нагрузки подключены ДОФ на МПЛ.

Реальный режим возбуждения ДОФ соответствует согласованному режиму по его входу и передаче на его выход максимального уровня СВЧ-сигнала, но уже фазоманипулированного. Следовательно, необходим как можно более широкополосный 3-дБ направленный ответвитель. Этому критерию наиболее соответствует ответвитель Lange [2] — у него максимальная широкополосность ($\Delta f \geq 50\%$) при хорошем согласовании с регулярным трактом ($K_{\text{сгу}} \leq 1,15$), а также минимальные габариты.

Поскольку ДОФ одинаковы, фазоманипулированные равноамплитудные сигналы с выходов ДОФ, суммируясь по фазе в электродинамической структуре ответвителя Lange, поступают на выход ДПФ. Следовательно, фазовый сдвиг одноразрядного ДПФ балансного типа будет фактически равен фазовому сдвигу, создаваемому образующими его единичными ДОФ.

Рассмотренные принципы создания микрополосковых дискретных проходных фазовращателей циркуляторного и балансного типа были неоднократно апробированы и подтверждены экспериментально. Все упомянутые устройства были реализованы как на керамических подложках из поликора или 22ХС, так и на подложках из органических диэлектриков типа Duroid, в связи с чем предложенная методика может быть рекомендована к широкому применению.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Соколинский В.Ш., Шейнкман В.Г. Частотные и фазовые модуляторы и манипуляторы.—М.: Радио и связь, 1983.
2. Patent №1276180 US. Interdigitated strip line coupler / J. Lange.— 22.08.1969.

E. N. Glushechenko

Microstrip single-bit phase shifters of transmission type for antenna arrays

The author shows the necessity of pass-through phase shifters in antenna arrays. The operation of the discrete reflective phase shifter is analyzed. The realization schemes of pass-through phase shifters of circulatory and balance type are considered.

Keywords: microstrip, phase shifter, circulator, coupler, diode.