

ЛИТЕРАТУРА

1. Интегральные схемы АЦП и ЦАП/Под ред. Л. М. Лукьянова.— М.: Энергия, 1978.
2. Сморгыо О. Г. О возможности построения быстродействующего микроомного АЦП на основе использования ПЗС.— В кн.: Ядерная электроника/Под ред. Т. М. Агаханяна.— М.: Атомиздат, 1979, вып. 10, с. 45—49.
3. Носов Ю. Р., Шилин В. А. Полупроводниковые приборы с зарядовой связью.— М.: Сов. радио, 1976.
4. Сморгыо О. Г. Метод повышения точности АЦП на ПЗС.— В кн.: Ядерная электроника/Под ред. Т. М. Агаханяна.— М.: Атомиздат, 1980, вып. 11, с. 15—18.
5. Terman L. M., Jee J. S. High Sensitivity Charge Comparator for Sensing and Comparing Very Small Charge Packets.— IBM Technical Disclosure Bulletin, 1978, vol. 21, N 3, p. 1262—1263.

*Поступило в редакцию 4 февраля 1980 г.;
окончательный вариант — 12 ноября 1980 г.*

УДК 621.396

Е. А. КОПЫЛОВ, Ю. В. МАРЧУК
(Новосибирск)

ДИСКРЕТНЫЙ ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ

Управляемые фазовращатели находят широкое применение в автоматизированных радиоэлектронных системах [1]. Однако на метровых волнах фазосдвигающие линии, используемые в диапазоне СВЧ, становятся велики по размерам, а цепи с сосредоточенными элементами технически трудновыполнимыми. В настоящей работе показана возможность создания малогабаритного фазовращателя с диапазоном изменения фазы 360° и дискретностью 90° на основе бифилярной спиральной линии. Такие линии использовались ранее для целей симметрирования [2], деления мощности [3] и согласования импедансов в широкой полосе частот [4].

Для пояснения принципа действия фазосдвигающей цепи рассмотрим схему, приведенную на рис. 1. Двухпроводная линия длиной S_n , образованная парой свитых проводов 1 и 2, наматывается в виде спирали на ферритовый сердечник, имеющий форму цилиндра или тора. По отношению к заземленной плоскости спираль может быть представлена как две несимметричные спиральные линии длиной S_0 , образованные из проводов 1 и 2 и имеющие между собой электромагнитную связь [2, 3]. В такой системе могут распространяться независимо два типа волн: синфазный и противофазный. Поле синфазной волны локализовано в пространстве между спиралью и заземленной плоскостью, токи в проводах 1 и 2 одинаково направлены и равны по величине, длина линии с синфазной волной равна длине спирали S_0 . Противофазная волна характеризуется равными и противоположно направленными токами, вследствие чего электромагнитное поле этого типа сосредоточено в малом пространстве между проводами витой линии и слабо взаимодействует с материалом сердечника. Воспользуемся далее результатами работы [2], в которой методом суперпозиции найдены токи в проводах линии, и запишем выражения для выходного напряжения U_R и входной проводимости $Y_{вх}$:

$$U_R = E (R/4W_0 \sin \alpha l_0 - R/W_n \sin \alpha l_n) [i + R(1/4W_0 \operatorname{tg} \alpha l_0 + 1/W_n \operatorname{tg} \alpha l_n)]^{-1}, \quad (1)$$

$$Y_{вх} = (1/4iW_0 \operatorname{tg} \alpha l_0 + 1/iW_n \operatorname{tg} \alpha l_n) - [R(1/4iW_0 \sin \alpha l_0 + 1/iW_n \sin \alpha l_n)^2 / (1 + R(1/4iW_0 \operatorname{tg} \alpha l_0 + 1/iW_n \operatorname{tg} \alpha l_n))], \quad (2)$$

где E — напряжение источника входного сигнала, фаза которого условно принята за нуль; $\alpha = \omega/c$ (ω — частота, c — скорость света); W_0 — волновое сопротивление линии на синфазном типе волны; W_n — волновое сопротивление линии на противофазном типе волны.

В дальнейшем нам потребуются следующие соотношения:

$$W_0 = \sqrt{L_0/C_0}, \quad l_0 = S_0 c \sqrt{L_0 C_0}; \quad (3)$$

$$W_n = \sqrt{L_n/C_n}, \quad l_n = S_n c \sqrt{L_n C_n}. \quad (4)$$

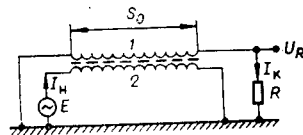


Рис. 1. Схема фазосдвигающей цепи.

Здесь L_n , C_n — погонная индуктивность и емкость витой двухпроводной линии; L_0 , C_0 — погонная индуктивность и емкость спиральной линии относительно заземленной плоскости.

Из выражения (1) определим фазовый сдвиг напряжения на нагрузке относительно входного напряжения:

$$\operatorname{tg} \varphi = - [R / (4W_0 \operatorname{tg} \alpha l_0) + R / (W_n \operatorname{tg} \alpha l_n)]^{-1}. \quad (5)$$

Условия рабочего режима фазосдвигающей цепи следующие:

$$R = W_n, \quad 1 / (4W_0 \operatorname{tg} \alpha l_0) \ll 1 / (W_n \operatorname{tg} \alpha l_n). \quad (6)$$

При этих условиях фазовый сдвиг (5) равен набегу фазы в двухпроводной линии с противозаземленной волной:

$$\varphi = -\alpha l_n. \quad (7)$$

Если источник входного сигнала на рис. 1 подключается к проводу 1, а провод 2 соединяется с «землей», то в (7) знак меняется на противоположный [2].

Точность поддержания фазового сдвига (7) в диапазоне частот определяется, как и для всех линий без дисперсии [7], выражением

$$\Delta\omega/\omega = \Delta\varphi/\varphi. \quad (8)$$

Условия (6) являются также и условиями согласования фазосдвигающей цепи по входу, что следует из равенства $Y_{\text{вх}} = 1/W_n$, получающегося из выражения (2).

Для выполнения неравенства (6) необходимо, чтобы:

- а) $W_0 \gg W_n$, для чего двухпроводная линия наматывается на сердечник из высокочастотного феррита;
- б)

$$\operatorname{tg}(\alpha l_0) = \operatorname{tg}(\alpha l_n), \quad (9)$$

что особенно важно, если длина линии изменяется.

Из выражения (9) следует, что

$$l_0 = l_n \pm k(\pi/\alpha) \quad (k=0, 1, 2 \dots). \quad (10)$$

Полагая $k=0$ и подставляя в (10) выражения (3) и (4), получим

$$\sqrt{L_0 C_0} / \sqrt{L_n C_n} = S_n / S_0. \quad (11)$$

Выполнение равенства (11) осуществляется за счет конструктивных мероприятий с помощью известных данных по погонным параметрам спиральных [5] и витых двухпроводных линий [6]. Возможно экспериментальное определение погонных параметров, для чего следует измерить емкость и индуктивность отрезка линии единичной длины.

Принципиальная схема фазовращателя представлена на рис. 2. Полувольтной отрезок витой двухпроводной линии наматывается на ферритовый сердечник и нагружается на сопротивление R_n , равное волновому сопротивлению. Питание может подводиться как к началу линии (точки 1 или 1'), так и к середине (точки 2 или 2'). Коммутация точки питания необходима для изменения фазового сдвига и осуществляется при помощи диодного коммутатора ($D_1 - D_4$). При этом энергия от источника

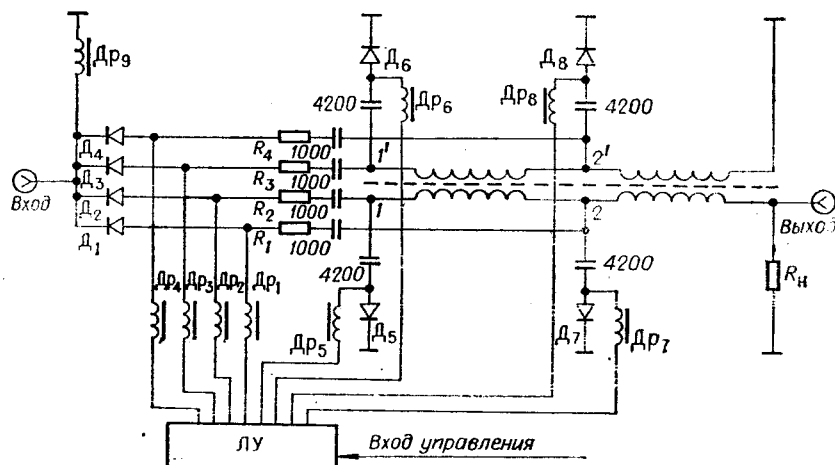


Рис. 2. Принципиальная схема фазовращателя:

$D_1 - D_4$ — КД407, $D_5 - D_8$ — ГА504А, R_n — 75 Ом, $D_p1 - D_p8$ — 50 мкГн, ЛУ — цифровое логическое устройство.

Диод	Угол, град			
	0	-90	-180	-270
D ₁	0	1	0	0
D ₂	0	0	1	0
D ₃	1	0	0	0
D ₄	0	0	0	1
D ₅	1	1	0	1
D ₆	0	1	1	1
D ₇	0	0	0	1
D ₈	0	1	0	0

ния на распространение волны от сечения 2—2' до нагрузки. Коммутации, которые следует произвести для установки требуемого значения фазы, сведены в таблицу. Единицей отмечены диоды, на которые подан ток прямого смещения, а нулем — обратносмещенные диоды.

Управление фазовращателем осуществляется в соответствии с таблицей при помощи логического устройства (на схеме не раскрытого), которое при поступлении кода требуемого значения фазы переключает диоды в нужное состояние.

Для экспериментального исследования фазовращателя был изготовлен лабораторный макет, работающий на частоте 36,4 МГц. Линия свивалась из двух медных изолированных проводов диаметром 0,2 мм. Измеренные параметры линии имели следующие значения: волновое сопротивление 75 Ом, фазовая скорость 0,5 с. Линия наматывалась в один ряд на тороидальный ферритовый сердечник с диаметром по средней линии 20 мм. Макет был собран с одной стороны печатной платы из фольгированного стеклотекстолита; другая сторона служила общей заземленной плоскостью. Погонная емкость спиральной линии изменялась при изменении расстояния от спирали до заземленной плоскости с тем, чтобы равенство (11) приблизительно выполнялось. Цепи, замыкающие точки линии на «землю», коммутировались диодами типа *pin* [7] и имели минимальную длину.

При испытаниях макета проверялась работоспособность устройства и измерялись отклонения фазового сдвига от требуемого в 10%-ной полосе частот. Измерения осуществлялись по стандартной методике с помощью фазометра ФК2-12. Результаты представлены на графике (рис. 3). Зависимость 1 — отклонение измеренного фазового сдвига от требуемого для $\varphi = -90^\circ$ и $\varphi = -270^\circ$, зависимость 2 — эта же величина для $\varphi = 0^\circ$ и $\varphi = -180^\circ$.

Разработанный фазовращатель может быть использован в радиоизмерительных системах с дискретной фазовой модуляцией, а также в антенных устройствах для управления диаграммой направленности.

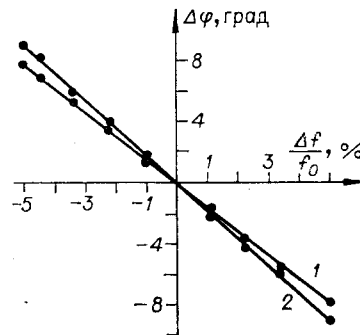


Рис. 3. Зависимость отклонения фазового сдвига от частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербух М. Э., Блохин В. П., Мирошниченко А. С. Дискретные микрополосковые фазовращатели на *pin*-диодах.— М.: ЦНИИЭлектроника, 1976.
2. Кузнецов В. Д., Парамонов В. К. Широкополосное устройство для симметрирования и согласования.— Электросвязь, 1968, № 11, с. 28—34.
3. Кузнецов В. Д., Парамонов В. К. Широкополосный 3-децибелный делитель с развязанными выходами.— Электросвязь, 1969, № 5, с. 47—52.
4. Ruthroff C. L. Some Broad-Band Transformers.— Proc. IRE, 1959, vol. 47, p. 1337—1342.
5. Алексеев Л. В. и др. Электрические фильтры метрового и дециметрового диапазона.— М.: Связь, 1976.
6. Краус А. Расчет тороидальных трансформаторов по критерию оптимальной полосы пропускания.— Электроника, 1973, № 17.
7. Мальский И. В., Сестрорецкий Б. В. СВЧ устройства на полупроводниковых диодах.— М.: Сов. радио, 1969.

Поступило в редакцию 16 мая 1979 г.;
окончательный вариант — 3 октября 1980 г.