

М. Т. БОВА

КОМУТАТОРИ ФАЗИ НА СЕГНЕТОЕЛЕМЕНТАХ

Керовані електрично комутатори фази коливань надвисокої частоти почали досліджувати та розробляти в останні роки у зв'язку з потребою фазової комутації в багатьох технічних пристроях.

Комутація фази застосовується в багатоелементних антенах, магістральних радіотелеграфних лініях, радіолокаційних станціях [1—3] та ін. До таких комутаторів ставляться технічні умови, головні з яких: сталість фазового зсуву в робочій смузі частот та температур, велика швидкість перемикання, надійність, мала вага та невелика потужність джерела керуючої напруги. Цим вимогам найкраще відповідають прилади, що керуються за допомогою електричного поля: варактори, p - і n -діоди та сегнетоелектрики.

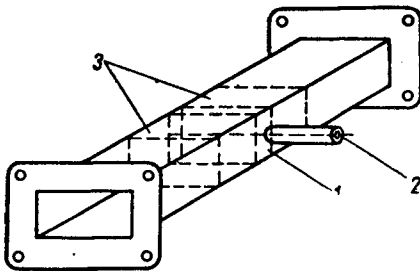


Рис. 1. Хвильовий фазокеруючий пристрій:

1 — сегнетоелемент; 2 — електрод для керуючої напруги; 3 — узгоджувачі діелектричні пластинки.

Використання сегнетоелектриків для комутації фази ще недостатньо вивчено.

Схема найпростішої конструкції, придатної як для фазової модуляції, так і для фазової комутації, наведена на рис. 1.

Сегнетоелектрик у вигляді пластинки розміщений всередині хвильоводу чи стрічкової лінії або як шайба в коаксіальній лінії. Для створення керуючого електричного поля між двома половинами сегнетоелектричної пластинки в хвильоводі вміщується електрод, до якого прикладається керуюча напруга. Другим електродом є металева поверхня хвильоводу. Дослідження сегнетоелектриків типу Ba (Ti , Zr , Sn) O_3 довели, що він зберігає здатність змінювати величину діелектричної проникності під впливом керуючого поля і на надвисоких частотах [4]. При зміні напруже-

ності керуючого електричного поля від E_1 до E_2 змінюється відносна діелектрична проникність відповідно від ϵ'_1 до ϵ'_2 , що приводить до зміни довжини хвилі в хвилеводі від λ_1 до λ_2 та зміни фази на величину

$$\Delta\varphi \approx 2\pi l \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right), \quad (1)$$

де l — довжина сегнетоелектрика. Формула (1) не враховує зміни фази внаслідок зміни коефіцієнта відбиття при різних напруженостях керуючого електричного поля.

Фазокеровані пристрої такої конструкції мають два істотних недоліки: по-перше, разом із зміною фази дещо змінюється амплітуда електромагнітного поля надвисокої частоти, тобто відбувається паразитна амплітудна модуляція; по-друге, внаслідок великої величини ϵ' потрібні узгоджуючі пристрої у вигляді, наприклад, діелектричних чвертьхвильових пластин, що звужує частотну смугу пристрою. Крім того, послаблення енергії надвисоких частот навіть при довжині пластинки в кілька міліметрів становить кілька децибел.

З метою зменшення послаблення внаслідок відбиття від сегнетоелектрика доцільно використовувати мініатюрні сегнетоелементи, у яких величина реактивної провідності $jB = j\omega C$ близька до величини характеристичної провідності Y_0 хвилеводу або іншої лінії. При паралельному вмиканні сегнетоелемента у лінію можна знайти, нехтуючи втратами в сегнетоелементі, фазовий кут для хвилі, що пройшла, з рівняння [5]

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{B}{2Y_0} = -\frac{\omega C}{2Y_0}. \quad (2)$$

Змінюючи ϵ' за допомогою керуючого поля, змінюємо відповідно ємність C , внаслідок чого відбувається зміна фази. При невеликій провідності сегнетоелемента

$$\varphi \approx -\frac{\omega C}{2Y_0}.$$

Таким чином можна одержати лінійну фазову модуляцію в межах приблизно $\pm 20^\circ$. Але і в цьому випадку одночасно з фазовою відбувається амплітудна модуляція, тому що модуль коефіцієнта передачі τ є також функцією провідності сегнетоелемента

$$|\tau| = \frac{2}{\sqrt{4 + \left(\frac{B}{Y_0}\right)^2}}.$$

Для компенсації амплітудної модуляції можна застосувати компенсуючі сегнетоелементи, а для розширення меж зміни фазо-

вого кута — використати послідовне з'єднання двох або більше фазокерованих пристроїв, як показано на рис. 2.

Зважаючи на температурну несталість параметрів сегнетоелектриків, доцільніше використовувати їх у фазових комутаторах, де вони вживаються як перемикаючі пристрої. Комутатор фази, схема якого наведена на рис. 3, використовує розгалуження енергії коливань надвисокої частоти між двома лініями за допомогою тридецибельного спрямованого відгалужувача. Завдяки

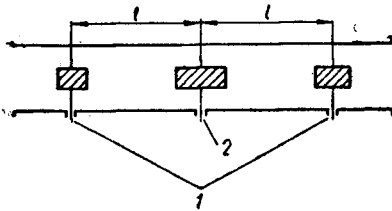


Рис. 2. Схема фазокеровуючого пристрою:

1 — керовані сегнетоелементи; 2 — компенсуючі сегнетоелементи.

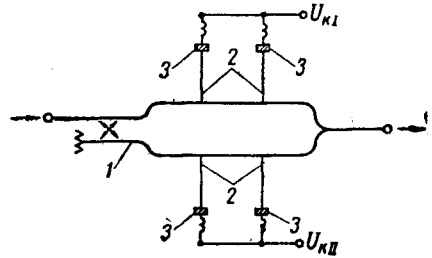


Рис. 3. Комутатор фази на сегнетоелементах:

1 — спрямований відгалужувач; 2 — відрізки ліній; 3 — сегнетоелементи.

останньому між коливаннями в обох лініях виникає зсув фаз ψ , що його можна обчислити за формулою (3), користуючись коефіцієнтами матриці розсіювання [6],

$$\cos \psi = \cos (\varphi_2 - \varphi_3) = - \frac{|S_{11}| |S_{14}|}{|S_{12}| |S_{13}|} \cos (\varphi_1 - \varphi_4). \quad (3)$$

Якщо спрямованість відгалужувача $D = 20 \lg \frac{|S_{13}|}{|S_{14}|}$ перевищує 25 дБ, то згідно з (3) відхилення кута зсуву фаз від 90° не перевищує $0,1^\circ$. У комутаторах фази використовують також для зсуву фази відрізки ліній різної довжини або лінії однакової довжини з різними діелектриками, проте запропонований спрямований відгалужувач забезпечує сталість фазового зсуву в усьому діапазоні частот, де спрямованість залишається високою.

Як показано на рис. 3, для «вмикання» або «вимикання» тієї або іншої лінії застосовують сегнетоелементи, приєднані до ліній через відрізки ліній. Останні разом з сегнетоелементами створюють загороджувальний фільтр, резонансна частота якого змінюється відповідно до керуючої напруги U_{κ} .

Загасання внаслідок вмикання паралельно лінії фільтра розраховуємо за формулою

$$L_{\text{дб}} = 10 \lg \frac{1}{|S_{12}|^2}. \quad (4)$$

Нехтуючи втратами в сегнетоелементі, обчислюємо

$$|S_{12}| = \frac{2}{\sqrt{4 + B_n^2}}. \quad (5)$$

Враховуючи чвертьхвильовий трансформатор з характеристичним опором Z_T , знаходимо нормовану провідність B_n входу фільтра на резонансній частоті

$$B_n = \frac{B}{Y_0} = Z_c \frac{Z_0}{Z_T^2}, \quad (6)$$

де $Z_0 = \frac{1}{Y_0}$ — характеристичний опір лінії;
 Z_c — повний опір сегнетоелемента.

Підставляючи рівняння (5) та (6) в (4), одержуємо формулу для розрахунку затухання на резонансній частоті

$$L_{дб} = 10 \lg \frac{4 + \left(Z_c \frac{Z_0}{Z_T^2} \right)^2}{4}. \quad (7)$$

Вимірювання затухання на лабораторному макеті довели, що один сегнетоелемент з чвертьхвильовим трансформатором може змінювати величину L від одного до 12—15 дб, при зміні керуючої напруги від 600 в до нуля. Для збільшення затухання при «вмиканні» використовують два резонансні фільтри, як показано на рис. 3. У цьому випадку затухання зростає до 25÷30 дб.

Використовуючи кілька спрямованих відгалужувачів, можна розширити межі комутованого фазового кута.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зимин Д. Б., Долженков А. А. Коммутационные фазовращатели.— Сборник статей МАИ «Сканирующие антенны сверхвысоких частот». Машиностроение, 1964.
2. Петров Н. Т. Каналы связи с фазовой манипуляцией. Всесоюзный заочный электротехнический институт связи, 1962.
3. Tirrett J. T. Millimicrosecond pulse instrumentation for microwave. — IRE Transactions on Instrumentation, v. I — 9, N 1, 1960.
4. Поплавко Ю. М. Сегнетоэлектрик с управляемой диэлектрической проницаемостью в волноводе.— «Радиотехника», 1963, № 10.
5. Бова Н. Т. Оптимальная величина реактивного сопротивления параметрического элемента на СВЧ.— Известия вузов СССР — Радиотехника, т. VIII, 1965, № 5.
6. Бова Н. Т., Лайхтман И. Б. Фазовые соотношения в направленном ответвителе.— Известия вузов СССР — Радиотехника, т. IV, 1961, № 3.

Н. Т. БОВА

КОММУТАТОРЫ ФАЗЫ НА СЕГНЕТОЭЛЕМЕНТАХ

Краткое содержание

Показана возможность создания коммутатора фазы на сверхвысоких частотах путем помещения сегнетоэлектрической пластины внутри линии или с помощью нескольких миниатюрных сегнетоэлементов, расположенных вдоль линии. Основным недостатком таких типов коммутаторов фазы являются большие вносимые потери. Используя направленный ответвитель как фазосдвигающее устройство, можно построить коммутатор фазы в пределах $0-90^\circ$ с малыми потерями на сверхвысоких частотах.

N. T. BOVA

PHASE SWITCHES USING FERROELECTRIC ELEMENTS

Summary

It has been shown that phase switch at UHF can make use of a ferroelectric slab inside a transmission line or place several small ferroelectric elements along a transmission line. The main disadvantage of such types is considerable losses in ferroelectric.

Using a directional coupler as a phase-shifting component it is possible to create a phase switch with 90° incremental phase shift and small losses at UHF.