

Разработка методики измерения потерь в металлизированных ферритовых волноводах

Морозов Д.А.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Введение

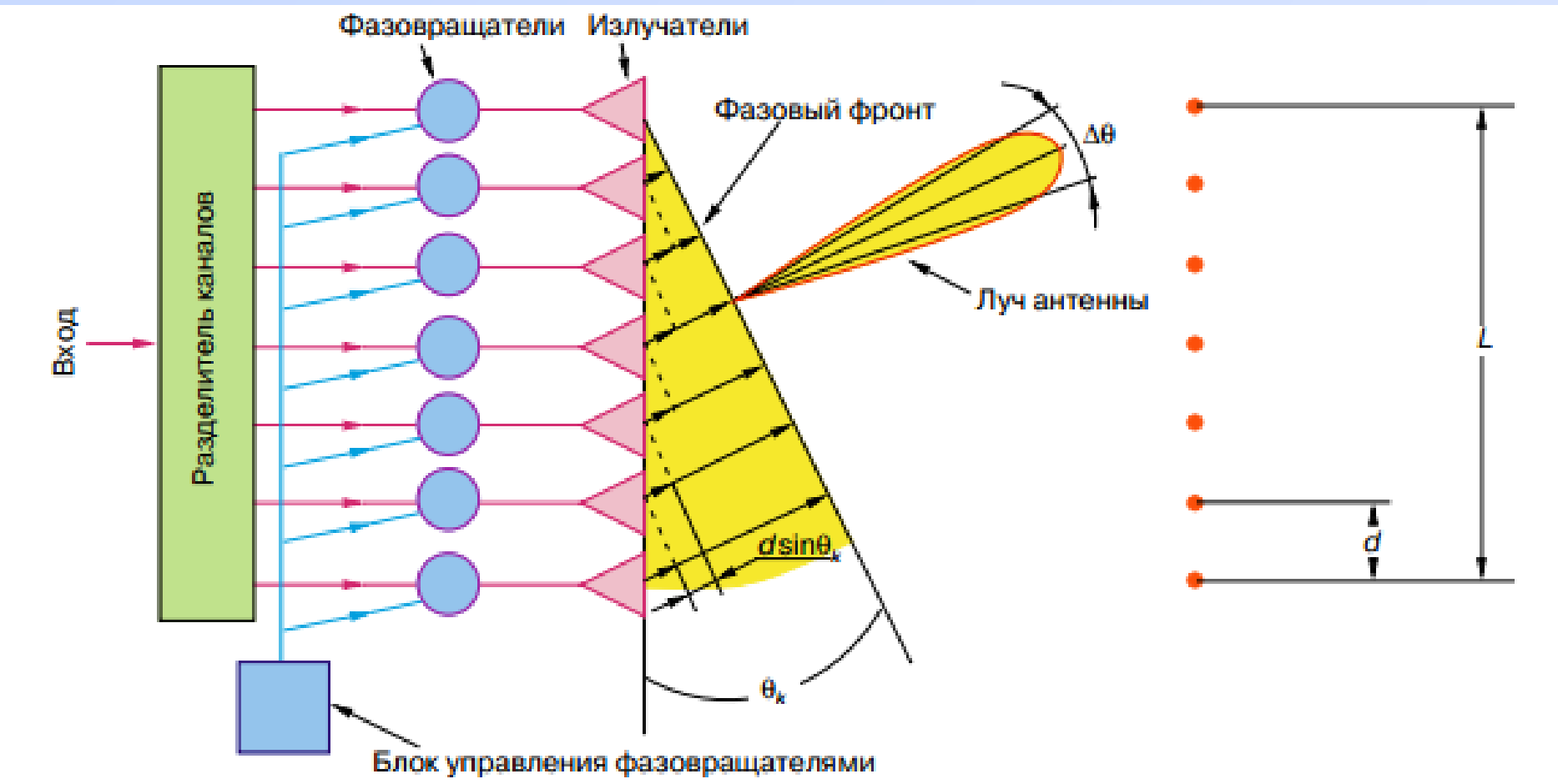
В производственном процессе серийного выпуска фазоуправляемого элемента фазированной антенной решетки (ФАР) важной задачей является расчёт характеристик устройств. В настоящее время накоплен большой опыт разработки и промышленного производства волноводных ферритовых фазовращателей (ВФФР), однако возникают определённые специфические проблемы, связанные с рабочей длиной волны. Этим проблемам способствуют различные конструкторско-технологические факторы, такие, как погрешности базирования излучателей и фазовращателей в интегрированных элементах ФАР, разброс значений продольных и поперечных размеров деталей при их изготовлении, возникновение различного рода зазоров при сборочных процедурах

Основные положения

При воздействии внешнего поля подмагничивания изменяются значения компонент тензора феррита, и, следовательно, фазовая постоянная волны β . При этом фаза электромагнитной волны на выходе фазовращателя определяется следующими выражениями:
 $\varphi_{\text{вых}} = \varphi_{\text{вх}} + \varphi_{\text{нач}} + \Delta\varphi$
 $\Delta\varphi = \Delta\beta l_{\text{эф}}$,
где $\varphi_{\text{вх}}$ — фаза волны на входе; $\varphi_{\text{нач}}$ — начальная фаза; $\Delta\varphi = f_1(H_0)$ — вносимый регулируемый фазовый сдвиг; $\Delta\beta = f_2(H_0)$ — изменение фазовой постоянной волны; $l_{\text{эф}}$ — эффективная длина ФВ

Поэтому фазовый сдвиг в фазовращателе определяется величиной намагничённости феррита. Ею можно управлять, изменяя ток в управляющей обмотке, которая будет создавать магнитное поле. Таким образом, варьируя значение тока в обмотке, мы можем получить желаемый фазовый сдвиг

Главным преимуществом ФАР является способность управления лучом антенны в пространстве. Электрическое управление положением антенного луча может осуществляться частотным и фазовым методами



Вектора магнитной индукции СВЧ и вектор напряжённости СВЧ магнитного поля оказываются связанными следующим соотношением записанным в тензорной форме записи:

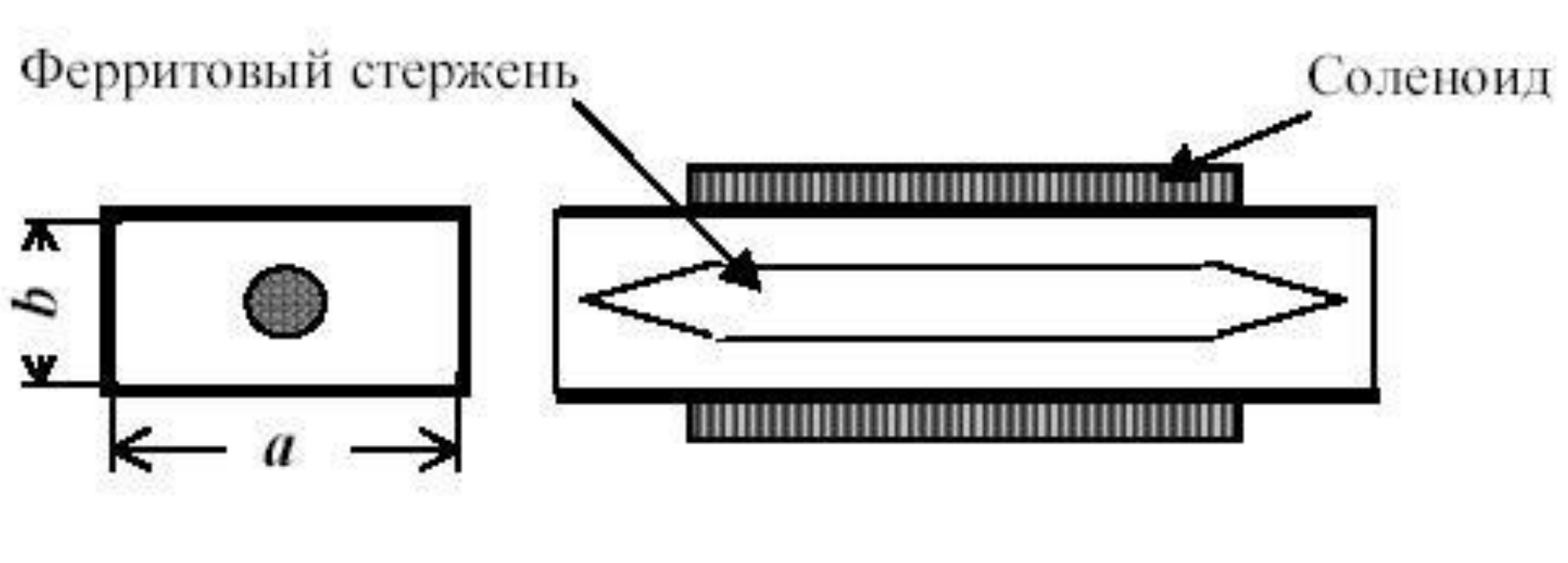
$$\vec{b} = \|\mu\| \cdot \vec{h} \quad \|\mu\| = \mu_0 \begin{vmatrix} 1 & -ik & 0 \\ ik & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

где μ - тензор магнитной проницаемости феррита на СВЧ

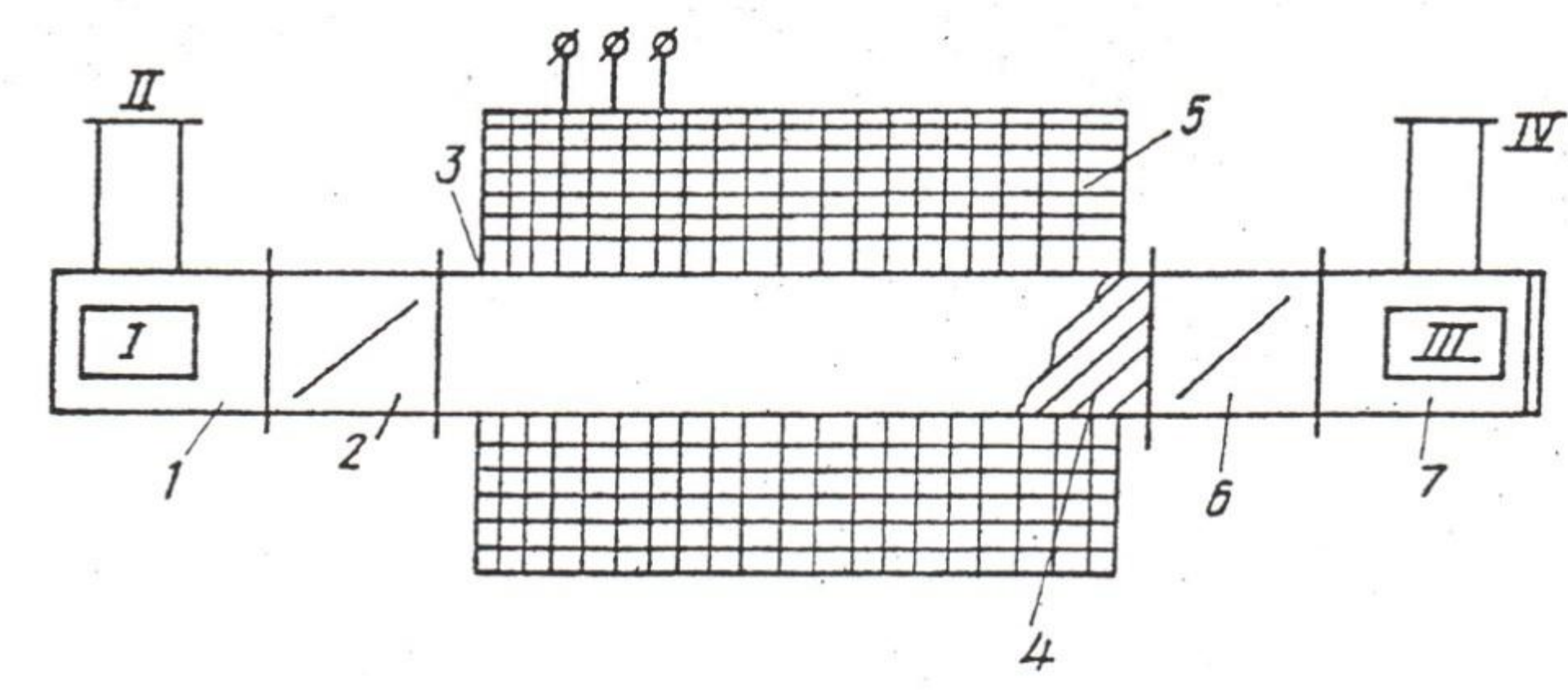
Основными параметрами ферритовых фазовращателей являются: рабочий диапазон частот (ГГц); коэффициент стоячей волны КСВН; вносимые потери L (дБ); максимальный фазовый сдвиг $\Delta\varphi_{\text{max}}$ (град); время переключения из одного фазового состояния в другое τ (мкс); активность F (град/м); добротность Q (град/дБ), крутизна фазовой характеристики
 $F = \Delta\varphi_{\text{max}} / I_{\text{эф}}$
 $Q = \Delta\varphi_{\text{max}} / L$.

Технологические решения

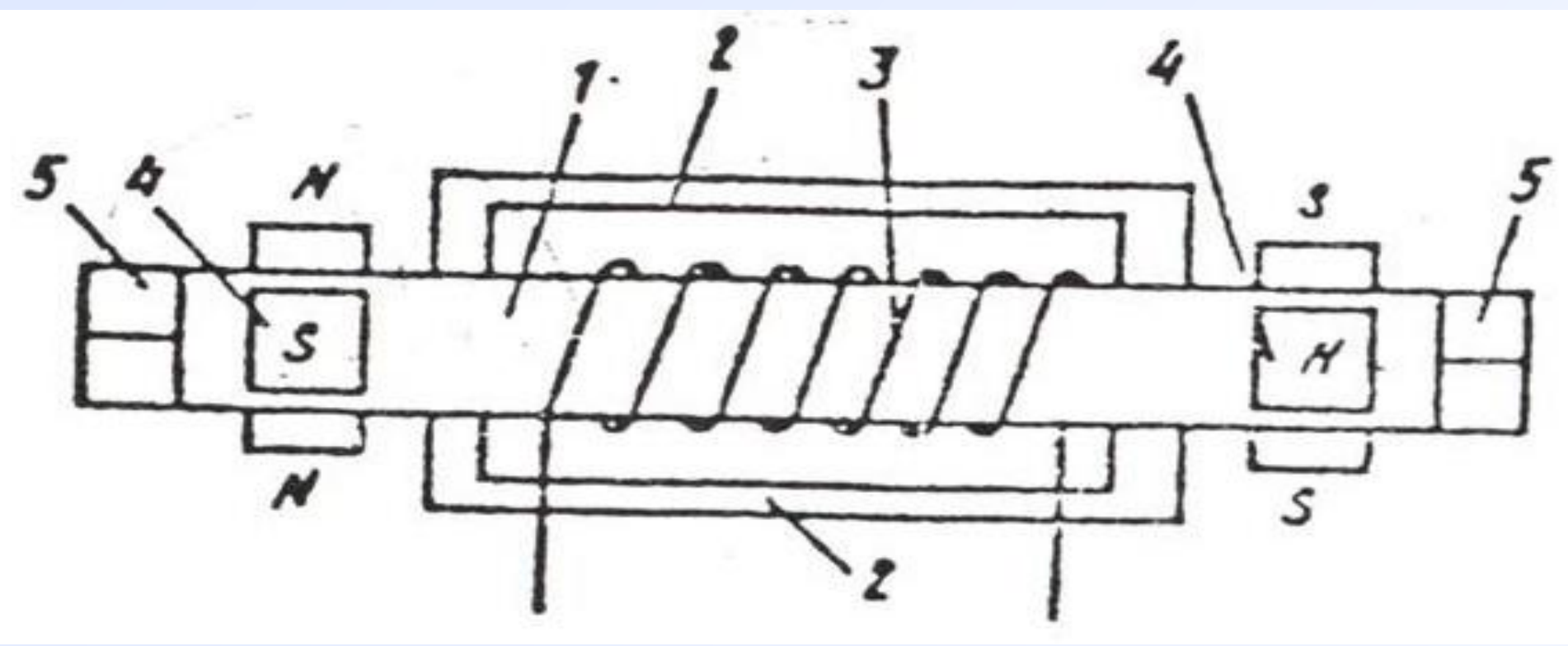
Взаимный фазовращатель с продольно намагничённым ферритом в прямоугольном волноводе



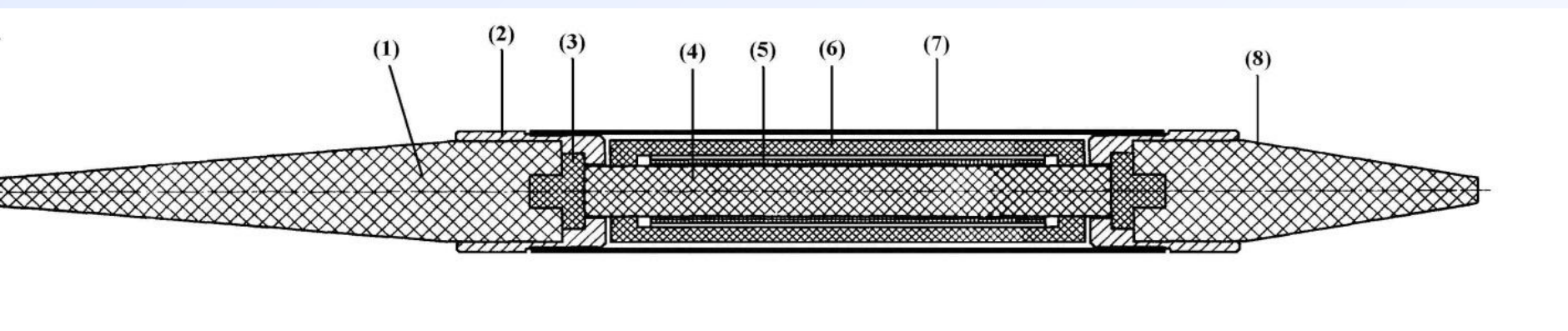
СВЧ-фазовращатель с непрерывным набегом фазового сдвига



Двухмодовый ферритовый фазовращатель



Конструкция элемента фазированной антенной решетки



- 1 – Конусообразный излучающий элемент
- 2 – Металлический «стакан».
- 3 – Ступенчатый диэлектрический трансформатор.
- 4 – Квадратный ферритовый волновод.
- 5 – Катушка намагничивания.
- 6 – П-образные скобы.
- 7 – Металлическая оболочка.
- 8 - Конусообразный приёмный элемент.

Результат

В случае если устройство взаимное и неоднородности одинаковые, S-параметры с индексом (1) будут такими же, как и с индексом (2) (неоднородности одинаковые), и формулы для коэффициентов отражения и передачи примут вид:

$$S_{11}^{(0)} = \frac{S_{22}^{(0)} - (S_{22}^{(0)})^3 \cdot e^{2\gamma_1 l} + (S_{12}^{(0)})^2 \cdot S_{22}^{(0)} \cdot e^{2\gamma_1 l}}{1 - (S_{22}^{(0)})^2 \cdot e^{2\gamma_1 l}} \quad S_{21}^{(0)} = \frac{(S_{12}^{(0)})^2 \cdot e^{\gamma_1 l}}{1 - (S_{22}^{(0)})^2 \cdot e^{2\gamma_1 l}}$$

Величина $\beta = \beta_0 + \Delta\beta$, где $\beta_0 = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{c}\right)^2 \cdot \epsilon - \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}$ - постоянная распространения квадратного волновода, заполненного размагничённым ферритом (в программе β_0 рассчитывается пакетом HFSS вместе с S-параметрами), величина $\Delta\beta$ - управляемый фазовый сдвиг и он меняется в пределах от $\Delta\beta_{\text{min}} = -\frac{\pi \cdot 200}{l \cdot 180}$ до $\Delta\beta_{\text{max}} = \frac{\pi \cdot 200}{l \cdot 180}$, с шагом который выбирается в программе.

Как видно, величина β зависит от f , и следовательно характеристики $S_{21}^{(0)}$ и $S_{11}^{(0)}$ будут зависеть от β и следовательно от f даже если S-параметры переходов от частоты не зависят.