

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛИНИИ, ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ЩЕЛИ СВЯЗИ ЗАМЕДЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗЬЮ

В. Л. Исаков, В. И. Правда

В приборах СВЧ с продольным взаимодействием широкое использование нашли замедляющие системы типа цепочки резонаторов, связанных между собой индуктивными щелями связи (рис. 1). ЛБВ с такими системами характеризуются достаточно высоким уровнем средней мощности при полосе пропускания больше 10%. Например, в наземной станции связи со спутниками ЛБВ подобного типа обеспечивает в полосе 12,7% на уровне 1 дБ выходную мощность больше 2 кВт [1].

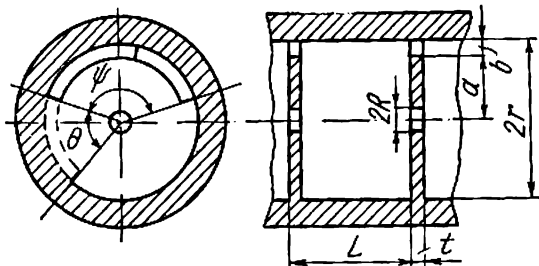


Рис. 1. Эскиз конструкции замедляющей системы типа цепочки резонаторов с положительной индуктивной связью.

Расчет дисперсионной характеристики и сопротивление связи таких систем являются одними из основных вопросов конструирования подобных ЛБВ. Наиболее приемлемый метод расчета замедляющих систем рассматриваемого типа изложен в [2] и развит для случая поочередного смещения

щелей в [3]. В этих работах щель связи рассматривается как длинная линия. Однако для расчета дисперсионных характеристик системы необходимо знать характеристическое сопротивление линии, эквивалентной щели связи. В [2] и [3] эта величина не определяется, что затрудняет использование приведенного решения дисперсионного уравнения.

В настоящей работе приводятся два возможных метода определения характеристического сопротивления линии, эквивалентной щели связи:

1. Аналитический метод, основанный на графическом построении статического поля в районе щелей связи.

2. Метод моделирования на электролитической ванне [4].

Из теории длинных линий известно, что характеристическое сопротивление двухпроводной линии

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{V \sqrt{\epsilon_n \mu_0}}{c} = \frac{30}{c}, \quad (1)$$

где L , C — погонные индуктивность и емкость длинной линии;
 ϵ_0 , μ_0 — диэлектрическая и магнитная проницаемость для воздуха.

Таким образом, расчет характеристического сопротивления сводится к расчету погонной емкости линии C .

При сложной конфигурации системы аналитический метод построения картины поля не обеспечивает необходимой точности расчета емкости щели. Более точный расчет получается, если распределение поля снимать на электролитической ванне.

На рис. 2 представлены две картины эквипотенциалов и линий напряженности поля для двух конфигураций щелей связи, полученные на электролитической ванне.

По приведенным картинам поля емкость между стенками щели может быть вычислена так [5]:

$$C = \left| \frac{\Delta\psi}{\Delta V} \right| \frac{m_1}{m_2}, \quad (2)$$

где $m_1 \Delta\psi = q$ — полный заряд, пропорциональный полному потоку вектора смещения через сечение всех трубок;

$m_2 \Delta V = V$ — приложенная разность потенциалов на стенках щели.

Следовательно, для определения характеристического сопротивления эквивалентной линии нужно иметь полную картину поля, построенную аналитически или полученную с помощью электролитической ванны.

Подобные методы определения Z_0 громоздки и требуют большого объема вычислительной работы. Вычисление характеристического сопротивления щели можно значительно упростить, используя метод электростатического подобия.

Для однородной среды полный заряд и приложенное напряжение выражаются интегралами

$$q = \epsilon_0 \int_l E(l) dl, \quad (3)$$

$$V = \int_0^b E(y) dy, \quad (4)$$

где $E(l)$ — электростатический градиент на поверхности одного из проводников линии;

$E(y)$ — электростатический градиент по оси y в центре зазора (рис. 2). Метод основан на подобии выражений

$$C = \frac{\epsilon_0 \int_l E(l) dl}{\int_0^b E(y) dy}, \quad (5)$$

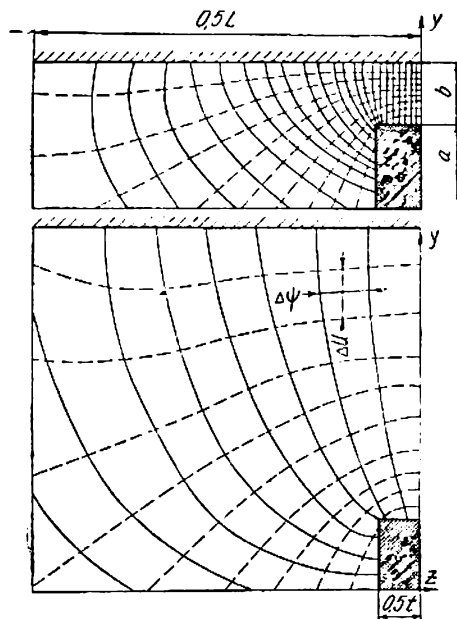


Рис. 2. Распределение статического поля, снятого в электролитической ванне для двух конфигураций щелей связи.

γ обратное $\frac{1}{G}$
 т.е. размерность $\frac{1}{\text{См}}$

$$\frac{1}{R_b} = \frac{\rho_0 \int_0^b E(t) dt}{\int_0^b E(y) dy},$$

где R_b — измеренное сопротивление между проводниками;
 ρ_0 — удельное сопротивление проводящего слоя.

м.е. ф-ла описывает посылку информации между элементами.

где R_b — измеренное сопротивление между проводниками;
 ρ_0 — удельное сопротивление проводящего слоя.

Подставляя (5, 6) в (1), получаем выражение для характеристического сопротивления линии:

$$Z_0 = \frac{\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}}{R_b \rho_0} = \frac{\mu}{R_b \rho_0}, \quad (7)$$

где $\mu = 377 \text{ ом}$.

Измеряя сопротивление растекания тока между электродами на низких частотах мостовым методом и зная удельную проводимость жидкой моделирующей среды, легко определить искомое сопротивление линии.

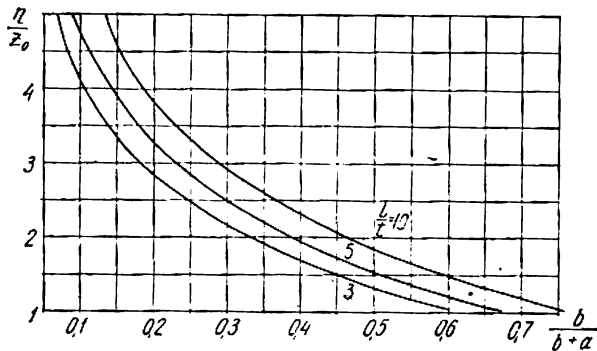


Рис. 3. Зависимость характеристического сопротивления линии эквивалентной щели связи от геометрических размеров рассматриваемого типа замедляющих систем.

На рис. 3 приведены зависимости характеристического сопротивления щели от ее геометрических размеров для трех значений L/t , определенных методом электростатического подобия.

Отметим, что в [2, 3] дисперсионное уравнение было получено при рассмотрении волны типа ТЕМ в области щели. Такое предположение наиболее справедливо при малых значениях ширины щели и больших периодах системы. При широких щелях и малых периодах необходимо учитывать потенциальные составляющие полей, обуславливающие непосредственную взаимную связь между щелями. С этой целью в [2] вводятся эмпирические формулы для P и Q . В эти формулы также входит отношение Z_0/μ , что позволяет использовать полученные зависимости (рис. 3) в случае сильных связей между резонаторами рассматриваемого типа замедляющих систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Характеристическое сопротивление линии, эквивалентной щели связи рассматриваемых замедляющих систем, может быть определено аналитическим методом или методом электростатической аналогии.

Метод электростатической аналогии по сравнению с аналитическим методом является более точным. Кроме того, этот метод позволяет непосредственно определить характеристическое сопротивление линии в электролитической ванне при сложных конфигурациях щелей связи.

2. Приведенные экспериментальные зависимости (рис. 3) позволяют определять величину характеристического сопротивления линии по геометрическим размерам щелей связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. I. Collier. The Ground Station High — Power TWT, The B. S. T. I., 1963, vol. XLII, № 4, p. 3.
 2. M. A. Allen, G. S. Kino. On the Theory of Strongly Coupled Cavity Chains, Trans. IRE, MTT — 8, 1960, 3, pp. 362—369.
 3. Я. К. Трохименко. Зависимость свойств цепочки резонаторов от смещения щелей в смежных диафрагмах. «Радиотехника и электроника», 1961, № 12.
 4. И. М. Тетельбаум. Электрическое моделирование, М., Физматгиз, 1959.
 5. Л. Р. Нейман. Теоретические основы электротехники, М., Госэнергоиздат, 1959.
-