

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ОРТОГОНАЛЬНЫХ КРЕСТООБРАЗНЫХ ЩЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ИХ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ

Ю. В. Шубарин, Л. П. Яцук

При создании волноводно-щелевых антенн круговой поляризации с наперед заданным амплитудным распределением необходимо знать зависимость коэффициентов излучения щелей от их длины. При этом желательно в какой-то степени учесть взаимное влияние щелей.

В общем случае взаимное влияние излучателей осуществляется, во-первых, за счет воздействия полей, излучаемых всеми остальными излучателями на данный излучатель, и, во-вторых, через общую передающую линию.

Второй путь имеет место тогда, когда излучатели, питаемые общей передающей линией, не согласованы с ней. Отраженные от их входов волны приходят к каждому излучателю, вызывая изменение амплитуды и фазы излучаемых им полей. Такое взаимное влияние должно возникнуть в системе несогласованных с общей линией вибраторов или в волноводно-щелевой антенне с несогласованными щелями. Так как крестообразные ортогональные кругополяризованные щели согласованы с волноводом, то взаимное влияние между щелями возникает за счет излучаемых ими полей.

В литературе [1] отсутствует решение задачи, учитывающей взаимное влияние нерезонансных крестообразных щелей. Даже после теоретического решения такой задачи заранее следует ожидать значительных расхождений получаемых результатов с экспериментом, поскольку неизбежны естественные допущения, что щели бесконечно узкие и прорезаны в безграничной идеально проводящей плоскости.

Поэтому немалый интерес представляет экспериментальное определение коэффициентов излучения щелей с учетом их взаимного влияния.

Коэффициенты излучения щелей

Рассмотрим систему из N кругополяризованных крестообразных щелей, прорезанных в широкой стенке прямоугольного волновода, нагруженного на согласованную нагрузку.

Пусть ν — порядковый номер щели, если счет вести от генератора. Квадрат модуля коэффициента излучения ν -й щели $|S_{\Sigma\nu}|^2$ определим как отношение излученной этой щелью мощности $P_{\Sigma\nu}$, к мощности $P_{\text{пад } \nu}$, падающей на нее:

$$|S_{\Sigma\nu}|^2 = \frac{P_{\Sigma\nu}}{P_{\text{пад } \nu}}. \quad (1)$$

Найдем $P_{\Sigma\nu}$ и $P_{\text{пад } \nu}$.

Введем амплитудное распределение вдоль системы A_{Σ}^2 , определяемое равенством

$$A_{\Sigma}^2 = \frac{P_{\Sigma\nu}}{P_{\Sigma \text{ max}}}. \quad (2)$$

где $P_{\Sigma \max}$ — мощность максимально излучающей щели.
Тогда

$$P_{\Sigma \nu} = P_{\Sigma \max} A_{\nu}^2, \quad (3)$$

Мощность, падающая на ν -ю щель, представляет собой разницу между мощностью P , затрачиваемой в антенне, и мощностью, расходуемой от начала системы до указанной щели на излучение и потери в стенках волновода. Если обозначить мощность, теряемую в стенках волновода на промежутке от ν -й до $\nu + 1$ -й щели через ΔP_{ν} (рис. 1), то

$$P_{\text{пад } \nu} = P - P_{\Sigma \max} \sum_{i=1}^{\nu-1} A_i^2 - \sum_{i=0}^{\nu-1} \Delta P_i. \quad (4)$$

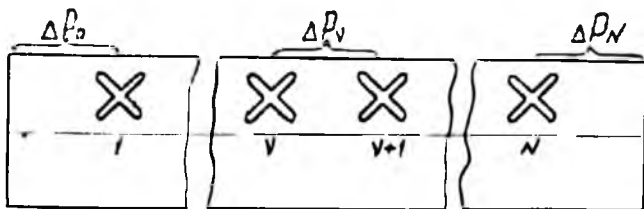


Рис. 1.

Мощность $P_{\Sigma \max}$ найдем из уравнения баланса мощности на входе антенны. Затрачиваемая в антенне мощность P расходуется на излучение в свободное пространство и потери в нагрузке (P_n) и в стенках волновода ($P_{\text{ст}} = \sum_{i=0}^N \Delta P_i$). Обозначив $P_n = P_n + P_{\text{ст}}$, имеем:

$$P = \sum_{i=1}^N P_{\Sigma \nu} + P_n = P_{\Sigma \max} \sum_{i=1}^N A_i^2 + P_n, \quad (5)$$

откуда

$$P_{\Sigma \max} = \frac{P - P_n}{\sum_{i=1}^N A_i^2}. \quad (6)$$

Подставляя (3) и (4) с учетом (6) в (1), выражаем коэффициент излучения щелей через амплитудное распределение в системе и отношение мощности потерь к мощности, затрачиваемой на входе антенны:

$$|S_{\Sigma \nu}|^2 = \frac{A_{\nu}^2 \left(1 - \frac{P_n}{P}\right)}{\left(1 - \frac{\sum_{i=0}^{\nu-1} \Delta P_i}{P}\right) \sum_{i=1}^{\nu} A_i^2 - \left(1 - \frac{P_n}{P}\right) \sum_{i=1}^{\nu-1} A_i^2}. \quad (7)$$

Мощность P , затрачиваемая на входе антенны, равна падающей на вход антенны мощности $P_{\text{вх}}$, если система согласована. Если исследуемая система на входе характеризуется коэффициентом стоячей волны (к. с. в.) $k_{\text{с вх}}$, которому соответствует коэффициент отражения

$$\Gamma_{\text{вх}} = \frac{k_{\text{с вх}} - 1}{k_{\text{с вх}} + 1}, \quad (8)$$

то в антенне затрачивается мощность

$$P = P_{\text{вх}} (1 - |\Gamma_{\text{вх}}|^2) = P_{\text{вх}} \frac{4k_{c \text{ вх}}}{(k_{c \text{ вх}} + 1)^2}. \quad (9)$$

По той же причине мощность, идущая в нагрузку, связана с падающей на нагрузку мощностью $P_{\text{вых}}$ соотношением

$$P_{\text{н}} = P_{\text{вых}} \frac{4k_{c \text{ н}}}{(k_{c \text{ н}} + 1)^2}, \quad (10)$$

где $k_{c \text{ н}}$ — к. с. в. нагрузки.

Если предположить, что длина системы невелика и проводимость стенок волновода приближается к идеальной, то потерями в них можно пренебречь. Принимая такое предположение (противный случай подлежит специальному рассмотрению) и учитывая равенства (9) и (10), представим выражение (7) для коэффициента излучения ν -й щели в следующем виде:

$$|S_{2\nu}|^2 \approx \frac{A_\nu^2 \left| 1 - \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \cdot \frac{k_{c \text{ н}}}{k_{c \text{ вх}}} \cdot \frac{(k_{c \text{ вх}} + 1)^2}{(k_{c \text{ н}} + 1)^2} \right|^2}{\sum_{i=1}^N A_i^2 - \left| 1 - \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} \cdot \frac{k_{c \text{ н}}}{k_{c \text{ вх}}} \cdot \frac{(k_{c \text{ вх}} + 1)^2}{(k_{c \text{ н}} + 1)^2} \right|^2 \sum_{i=1}^{N-1} A_i^2}. \quad (11)$$

Полученная формула дает возможность определить коэффициенты излучения щелей в антенне. Необходимыми данными для этого являются измеренные амплитудное распределение вдоль системы щелей, отношение мощностей на входе и выходе волноводной линейки, а также к. с. в. согласованной нагрузки и к. с. в. на входе линейки с этой нагрузкой.

Таким образом, по экспериментальным данным можно рассчитать график зависимости коэффициентов излучения щелей от их длины с учетом взаимного влияния соседних щелей.

Экспериментальное определение коэффициентов излучения

При экспериментальном определении коэффициентов излучения щелей с учетом взаимного влияния возможны два варианта. Во-первых, логично было бы испытать несколько волноводных линеек со щелями одинаковой длины в каждой и таким образом получить зависимость величины коэффициента излучения от длины щелей. Во-вторых, для этой цели можно использовать одну волноводную линейку с постепенно увеличивающимися (или уменьшающимися) длинами щелей.

Первый путь очень трудоемок и, строго говоря, ему не следует отдавать предпочтение, поскольку в реальных антеннах соседние щели бывают разными по длине. Основную роль во взаимном влиянии играют ближайшие щели, причем практически в большинстве случаев соседние щели мало различаются по длине; поэтому можно остановиться на втором варианте.

Нами исследовалась волноводная линейка с 15 крестообразными щелями, длины которых изменялись от 8 до 15,7 мм. Щели прорезаны на широкой стенке волновода сечением $12,6 \times 28,5 \text{ мм}^2$, на расстоянии длины волны в волноводе $\lambda_d = 38,6 \text{ мм}$, что соответствует частоте 9375 МГц. Центры щелей удалены от оси широкой стенки на 8,85 мм. С одного конца антенна запитывалась от клистронного генератора, к другому

концу присоединялась согласованная нагрузка с, к. с. в. $k_{сн} = 1,08$. Коэффициенты эллиптичности щелей и амплитудное распределение вдоль линейки измеряли с помощью волноводного зонда. Последний представлял собой отрезок круглого волновода с пластиной, поглощающей нежелательную компоненту. К зонду подключались детекторная секция и измерительный усилитель.

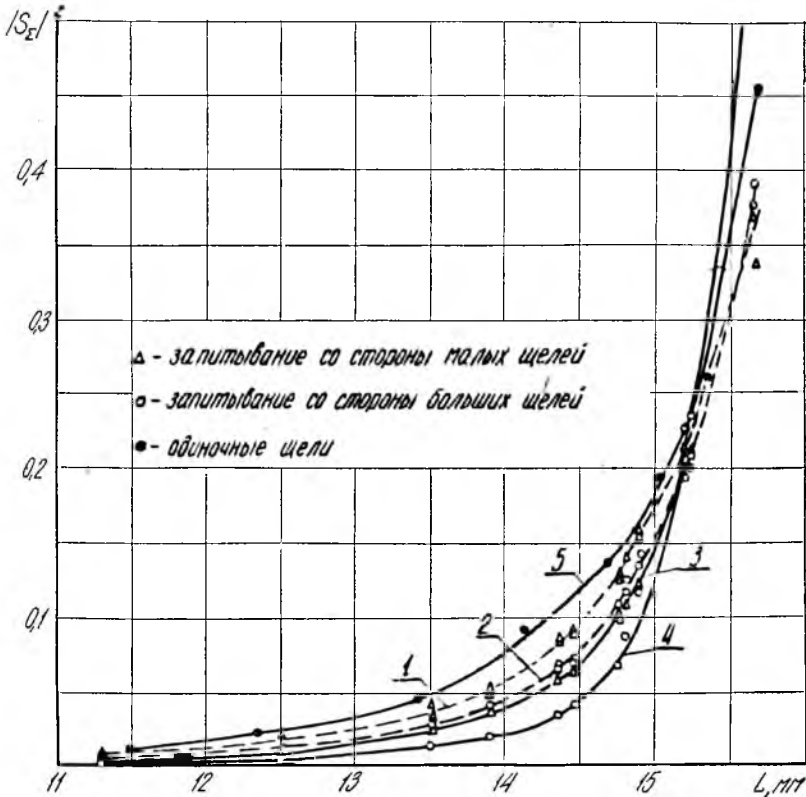


Рис. 2.

В качестве амплитудного распределения брали нормированную к максимальному значению сумму мощностей, излучаемых ортогональными щелями. Перепад мощности на входе и выходе антенны измерялся с помощью поляризационного аттенуатора.

Измерения были проведены на двух частотах: 9375 и 9272 Мгц; при этом линейка запитывалась как со стороны меньших, так и со стороны больших щелей.

Ввиду того, что кругополяризованные щели являются согласованными, к. с. в. на входе антенны был достаточно хорошим: $k_{свх} = 1,28 \div \pm 1,12$ (коэффициенты эллиптичности большинства щелей были не меньше 0,8). Поэтому при расчете коэффициентов излучения по формуле (11) множитель $\frac{k_{сн}}{k_{свх}} \left(\frac{k_{свх} + 1}{k_{сн} + 1} \right)^2$ принимался равным единице, так как он отличался от нее на $1 \div \pm 2\%$.

По экспериментальным данным рассчитаны коэффициенты излучения щелей (рис. 2) на частоте 9272 Мгц при запитывании антенн со стороны меньших (кр. 1) и больших (кр. 2) их длин, а также на частоте 9375 Мгц (кр. 3, 4 — соответственно при запитывании со стороны малых и больших щелей). Для сравнения на том же рисунке приведены результаты измерения коэффициентов излучения одиночных щелей на частоте 9375 Мгц (кр. 5)*.

Как видно из рис. 2, взаимное влияние выражается в уменьшении коэффициентов излучения у большинства щелей линейки по сравнению с одиночными щелями тех же длин.

Как и следовало ожидать, наиболее сильно влияют друг на друга щели, находящиеся в середине линейки. На излучении крайних щелей взаимное влияние сказывается в меньшей степени.

Интересно отметить, что при запитывании линейки со стороны больших щелей коэффициенты излучения оказываются несколько меньшими, чем при запитывании со стороны малых.

Кроме того, неожиданным является тот факт, что коэффициенты излучения малых и средних щелей на частоте 9375 Мгц меньше, чем на частоте 9272 Мгц . Здесь, по-видимому, играют роль два противоречивых явления: с одной стороны, уменьшение коэффициентов излучения за счет увеличения взаимного влияния на частоте 9375 Мгц , с другой, — увеличение коэффициентов излучения с увеличением частоты. Поэтому зависимость коэффициента излучения от длины щели и частоты носит сложный характер.

Полученный график (рис. 2) можно использовать для расчета волноводно-щелевых антенн с заданным амплитудным распределением. Необходимые коэффициенты излучения щелей следует вычислять по формуле (11), подставляя в нее заданное амплитудное распределение. При этом $k_{с\text{ вк}}$ нужно полагать равным единице, а отношение $\frac{P_{\text{н}}}{P}$ выбирать таким образом, чтобы коэффициент излучения не превышал максимального возможного значения.

Описанный метод можно использовать в случае любых неотражающих щелей. При этом результаты будут тем больше приближаться к истинным, чем лучше согласованы щели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Simmons A. I. Trans. IRE, V. A — P — 5, № 1, 1957, p. 31.

* Измерены Ю. А. Колтаковым.