

рекомендации по их применению. Также, ранее, проведены расчеты температур печатных проводников печатных плат применяемых в описанных конструктивах [1], на основании чего разработана методика расчета ширины печатных проводников с целью предотвращения их критического перегрева при работе в условиях космического вакуума [2, 3].

Список использованных источников

1. Костин А.В., Шумских И.Ю., Бозриков В.С., Рузанов А.В., Никитин Д.А. «Расчёт температуры печатных проводников плат установленных на металлическое основание в бортовой аппаратуре космических аппаратов работающей в условиях вакуума» / «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» VI Всероссийская научно-техническая конференции с международным участием («VI Козловские чтения»). Сборник материалов конференции. Том 2 – Самара, 2019. – 55-63 с.

2. Костин А.В., Шумских И.Ю., Рузанов А.В. «Методика расчета ширины печатных проводников печатных плат на металлическом основании для приборов космических аппаратов» / Всероссийская конференция с международным участием XLIV АКАДЕМИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ ПО КОСМОНАВТИКЕ, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства («КОРОЛЁВСКИЕ ЧТЕНИЯ»). Сборник тезисов. Том 2 – Москва, 2020. – 264-267 с.

3. Костин А.В., Шумских И.Ю., Рузанов А.В. «Выбор ширины печатных проводников печатных плат на металлическом основании для бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов» / Электронные и электромеханические системы и устройства: Э45 сборник научных трудов – Томск: Издательство Томского государственного университета, 2021. – 526-533 с.

Кутурин Виталий Александрович, магистрант каф. РЭС, vitalek57@gmail.com
Шумских Илья Юрьевич, соискатель ученой степени к.т.н., Shumskih.IY@samspace.ru.

УДК 621.372.837

МЕЖМОДОВЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПЕРЕДАЧИ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР В ОПРЕДЕЛЕНИИ КАНАЛЬНОЙ РАЗВЯЗКИ ВОЛНОВОДНЫХ БЕСКОНТАКТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ СВЧ

А.М. Плотников, А.П. Семибратов
ФГБУ Самарский филиал – «СОНИИР», г. Самара

Ключевые слова: Волноводный переключатель, развязка, основная мода, высшие моды.

Часто в научной литературе по волноводной СВЧ-технике можно встретить характеристики, приведенные лишь на основном типе волны [1-3]. В то же время в ряде случаев этого может оказаться недостаточно, например, для полноценного описания коммутационных, частотно-избирательных и других устройств, к которым предъявляются требования

максимизации развязки либо затухания. Так, возбуждение высших типов волн на разного рода неоднородностях, предусмотренных в устройствах волноводной техники, может привести к возникновению в т.ч. (не только полезных, но и) паразитных связей по этим модам, а также между ними. Это в конечном итоге может привести к значительному ухудшению межканальной развязки бесконтактных СВЧ-переключателей, направленных ответвителей, создать нежелательные полосы пропускания в диапазонах режекции фильтров. Кроме того, учет высших типов волн позволяет оценить параметрическую чувствительность устройства к технологическим допускам, пределы которой лишь по матрице рассеяния на основном типе волны определить затруднительно.

Рассмотрено два технических решения волноводных переключателей на основе высокоимпедансных поверхностей (HIS) [4] изображенных на рисунке 1, с небольшими различиями в конфигурации HIS. Оба решения на основном типе волны H_{10} имеют весьма схожие результаты по согласованию ($K_{СВН} < 1,04$), модулю коэффициента передачи ($KП > -0,2$ дБ), развязке ($IS > 95 \dots 100$ дБ) и схожи по габаритам, на основании которых сложно сделать выбор в пользу того или иного решения.

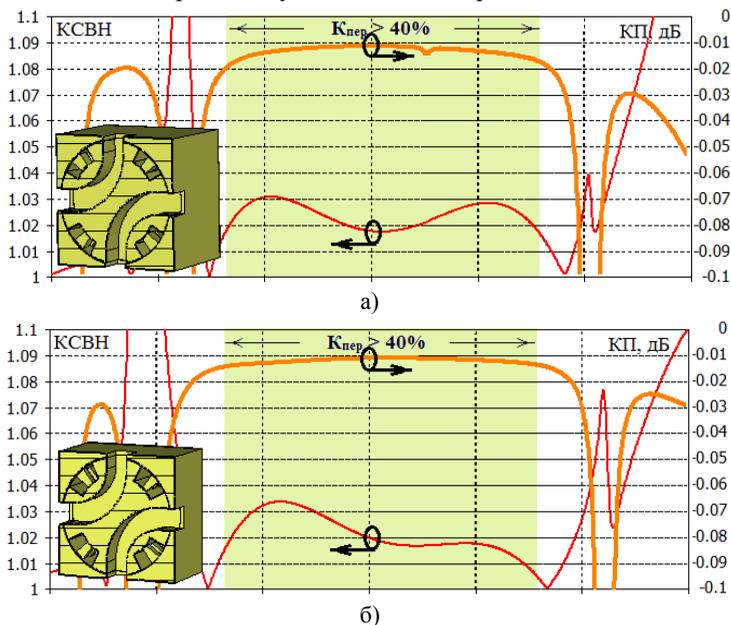
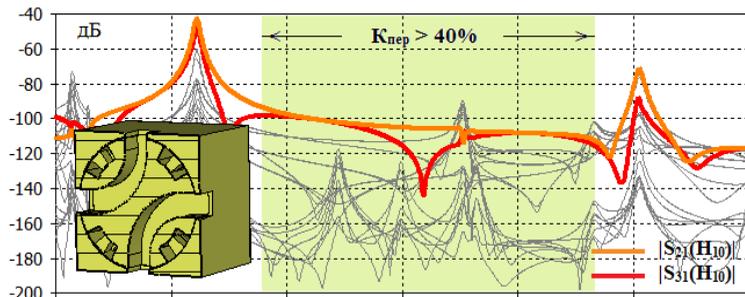


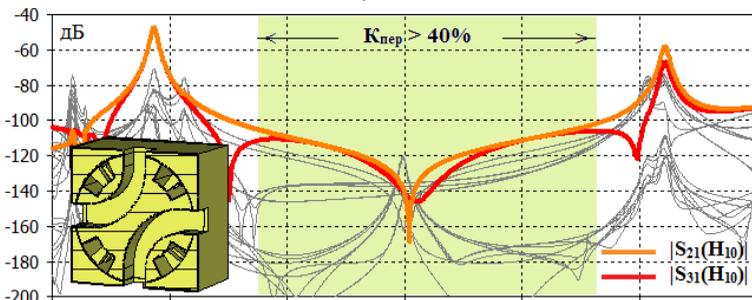
Рисунок 1 – КСВН и КП волноводных переключателей 1 (а) и 2 (б)

Однако при моделировании развязки с учетом высших типов волн, рисунок 2, возникают нюансы. Так, в первом случае наблюдается снижение развязки до 90 дБ, тогда как во втором значение сохраняется прежним 100 дБ).

Наложение технологических допусков на приведенные на рисунке 2 графики обуславливает еще большее расхождение решений по характеристикам развязки, см. рисунки 3, 4. Так, в первом случае заметно снижение до величины 58 дБ, во втором случае – до 80 дБ, что дополнительно подчеркивает преимущества одного решения перед другим.



а)



б)

Рисунок 2 – Развязка волноводных переключателей 1 (а) и 2 (б) на разных модах (жирным выделены развязки на моде H_{10})

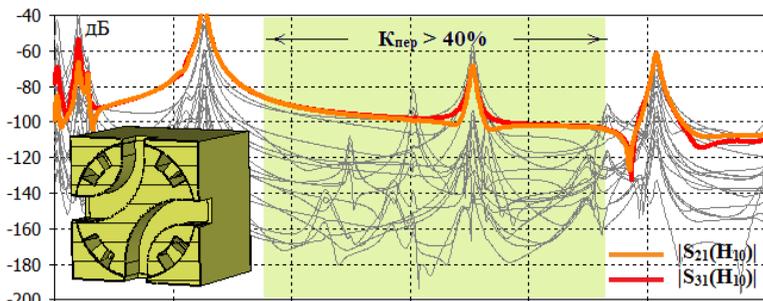


Рисунок 3 – Развязка волноводного переключателя 1 на разных модах с учетом технологических допусков (жирным выделены развязки на моде H_{10})

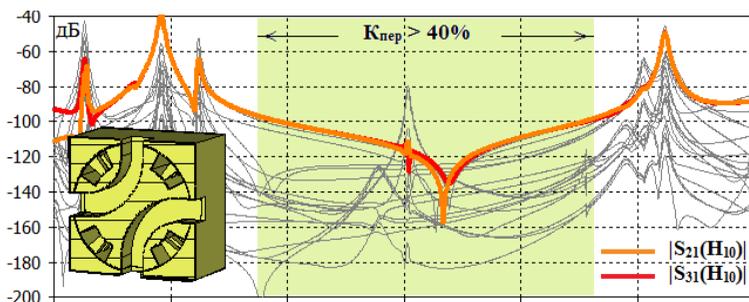


Рисунок 4 – Развязка волноводного переключателя 2 на разных модах с учетом технологических допусков (жирным выделены развязки на моде H_{10})

Таким образом, при моделировании волноводных устройств, для которых имеет значение нормированное подавление каких-либо величин, необходимо принимать во внимание наряду с основной модой ряд высших мод, совместно определяющих энергетiku рассматриваемого устройства. При этом достаточно определить минимальное число высших мод, например, по критерию стабилизации частотных зависимостей указанных величин при увеличении числа принимаемых во внимание мод.

Список использованных источников

1. Abdollahy H., Farahbakhsh A., Ostovarzadeh M. (2021). Mechanical Reconfigurable Phase Shifter Based on Gap Waveguide Technology. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*. 132. – DOI: 153655. 10.1016/j.aeue.2021.153655.
2. Alazemi A., Zarifi D., Farahbakhsh A. (2021). A Broadband Contactless Gap Waveguide Microwave Switch for X- and Ku-Bands Applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*. 139. 153929. – DOI: 10.1016/j.aeue.2021.153929.
3. Farahbakhsh A., Zarifi D., Zaman A. (2017). 60-GHz Groove Gap Waveguide Based Wideband H-Plane Power Dividers and Transitions: For Use in High-Gain Slot Array Antenna. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. PP. 1-11. – DOI: 10.1109/TMTT.2017.2699680.
4. Tayebpour J., Ahmadi B., Fallahzadeh M., Shekoofa O. and Torabi A. A Waveguide Switch Based on Contactless Gap Waveguide Technology // *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 29, no. 12, 2019. – pp. 771 – 774. – DOI: 10.1109/LMWC.2019.2950164.

Плотников Александр Михайлович, к.т.н., с.н.с., ФГБУ Самарский филиал – «СОНИИР», E-mail: plotnikov.am@soniir.ru

Семибратов Александр Петрович, ведущий инженер ФГБУ Самарский филиал – «СОНИИР», аспирант каф. РЭС ПГУТИ, E-mail: semibratov.ap@soniir.ru