

ТЕХНОЛОГИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ГАЛЬВАНОПЛАСТИЧЕСКОГО МОНТАЖА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ СИСТЕМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Яцуненко А. Г. , Привалов Е. Н.

Институт технической механики НАНУ и НКАУ, Днепропетровск

1. Введение

В качестве исходного момента, определяющего разумно необходимую степень интеграции или число функций, выполняемых конструктивно завершенными СВЧ-модулями может служить компромисс между стремлением к уменьшению массогабаритных показателей аппаратуры, упрощению ее эксплуатации и возможностями технологии ее изготовления, а также проверки и диагностики электрических параметров. Известно, что совершенствование элементной базы и эффективное ее использование, сводящееся лишь к простому объединению различных по функциональному назначению, но изготовленных отдельно узлов СВЧ не позволяет существенно улучшить электрические и массогабаритные характеристики аппаратуры, упростить и удешевить технологию ее изготовления [1]. В первую очередь этому препятствует большое количество стыковочных узлов. В результате даже в миллиметровом диапазоне длин волн из-за того, что существенную долю веса приемопередающей части станции составляют волноводные фланцы и корпуса приборов, выполненных на основе волноводного фланца, этот вес может достигать до 70-80 кг [2]. Разрешение возникшей дилеммы возможно за счет создания многофункциональных модулей, конструкция которых приспособлена для серийного производства. Ориентация только на гибридно-интегральную технологию печатных плат с имплантированными активными элементами не всегда является экономически привлекательной из-за их неремонтопригодности, а также более низкого по сравнению с волноводами допустимого уровня передаваемой мощности. Альтернативной этой технологии может быть модернизированная волноводно-интегральная - базирующаяся на основе многослойной гальваноластики с элементами гальванопластического монтажа [3, 4]. Помимо существенного выигрыша в весе и габаритах коренным образом снижаются затраты на настройку, так как применение метода гальваноластики обеспечивает не только высокую точность изготовления, но и повторяемость геометрических и электрических характеристик СВЧ-узлов.

Опыт работы в течение ряда лет показывает, что тщательно отработанная конструкция матриц многоразового использования в сочетании с технологической оснасткой, обеспечивающей вращивание как металлических, так и неметаллических деталей позволяет производить практически квазимонолитные СВЧ-модули с достаточно обширным спектром функциональных возможностей заменяемости генераторных, детекторных или смесительных диодов. При этом стремление к унифицированности конст-

рукций усилительных и генераторных узлов приводит не только и не столько к однотипности матриц многоразового использования, но и к легкости преобразования усилительного узла в генераторный и наоборот, что создает оперативный простор при обработке схмотехнических решений, реализующих квазимонолитные приемопередающие модули.

2. Элементы и узлы систем спутниковой связи, изготовленные методом гальванопластики

При разработке технологической оснастки и матриц многоразового использования для гальванопластического производства элементов и узлов аппаратуры связи (в том числе и спутниковой) необходимо, прежде всего, определиться производство каких из них является приоритетным. Безусловно, таковыми являются генераторный и усилительный модули, а также развязывающие устройства, например циркуляторы. Относительно генераторного модуля следует отметить, что для обеспечения чистоты спектра генерируемых колебаний, а также стабильности частоты и снижения уровня частотных шумов в нем должна быть предусмотрена система стабилизации частоты. Наиболее просто решение этой задачи может быть достигнуто путем параметрической стабилизации частоты с помощью внешнего высокодобротного резонатора. Основные критерии, которым должен удовлетворять стабилизирующий резонатор — это высокая добротность и не критичность электрических параметров к отклонениям от допусков при изготовлении (например, к отклонениям от перпендикулярности продольной оси резонатора к торцевым поверхностям). Как известно [5], таким требованиям удовлетворяют биконические резонаторы, к тому же форма оправки для их изготовления органически вписывается в конструкцию матрицы многократного использования, предназначенной для производства стабилизированного по частоте практически монолитного генераторного модуля.

В некоторых случаях при варьировании нагрузки генератора, стабильности его частоты, обеспечиваемой параметрической стабилизацией, может оказаться недостаточно. В этой ситуации для исключения влияния изменения нагрузки на частоту генерируемых колебаний обычно применяют ферритовые развязывающие устройства, разновидностью которых являются волноводные циркуляторы. Различают симметричные (Y) и несимметричные (T) циркуляторы. Исторически сложилось так, что хотя в конструктивном плане T-циркуляторы проще, но Y-циркуляторам посвящено большее количество работ, что связано с более простым расчетом их электродинамических параметров. Если рассматривать единичные развязывающие элементы Y- или T-циркуляторы, то оказывается, что путем соответствующего выбора формы и размеров ферритового вкладыша и диэлектрической втулки можно добиться примерно одинаковых электродинамических параметров рассматриваемых элементов, причем для T-циркуляторов система ферритовый вкладыш — диэлектрическая втулка по сравнению с Y-циркуляторами оказывается, как правило, сложнее. При одинаковых ферритовых

вкладышах Т-циркуляторы имеют более узкую полосу частот. Естественно, что матрица для изготовления Т-циркуляторов значительно проще, чем для Y-циркуляторов, но это обстоятельство не является единственно привлекательным при использовании Т-циркуляторов. Так, для каскадно-соединенных нескольких циркуляторов, в случае реализации такой цепочки посредством Y-циркуляторов возникают отдельные участки сборной матрицы, которые оказываются “замурованными”, что делает практически невозможным реализацию матрицы многократного использования. Вообще создается впечатление, что если на “стержневой” волновод как бы “нанизывать” функционально обозначенные узлы, то можно добиться реализации многофункционального устройства как единого целого, используя сборную матрицу многоразового применения, причем главное условие сводится к тому, чтобы каждый отдельно функционирующий узел был электродинамически связан со “стержневым” волноводом через его боковые поверхности.

Для иллюстрации потенциальных возможностей предлагаемой технологии изготовления элементной базы связной аппаратуры на рис. 1 представлены некоторые СВЧ-элементы и многофункциональные устройства на их основе, выполненные методом гальванопластики. При создании этого демонстрационного набора авторами преследовалась цель не только показать потенциальные возможности предложенной технологии, но и проиллюстрировать, что разработанные элементы и узлы связной аппаратуры превосходят существующие не только по массогабаритным показателям, но в некоторых случаях и по электродинамическим, или по крайней мере не хуже известных аналогов. Относительно электрических параметров некоторых из устройств можно сказать следующее.

Качественная сравнительная оценка долговременной нестабильности стандартного генератора СВЧ Г4-141 и на диоде Ганна, изготовленного методом гальванопластики (рис. 2, а), проводилась с помощью анализатора спектра С4-60 в режиме запоминания по ширине заштрихованной, сигналами сравниваемых генераторов области на экране электронно-лучевой трубки и показала, что применение стабилизирующего биконического резонатора (рис. 2, б) обеспечивает стабильность частоты изготовленного генератора на порядок выше, чем у серийно выпускаемого Г4-141.

На рис. 3 крупным планом и в несколько ином ракурсе, чем на рис. 1, показаны Y- и Т-циркуляторы. На рис. 4 также показаны частотные зависимости элементов матрицы рассеяния Т-циркулятора, скопированные с экрана панорамного измерителя коэффициента стоячей волны и ослаблений Р2-68.

Некоторая несимметричность частотных характеристик связана с геометрической асимметрией рассматриваемого устройства. Отметим, что представленный графический материал носит скорее иллюстративный характер, так как не была проведена оптимизация геометрических размеров ферритовых вкладышей. Кроме того, путем некоторого усложнения исходной матрицы, сводящегося к гальваническому монтажу регулировочных элементов, можно симметризовать частотные зависимости элементов мат-

рицы рассеяния и расширить рабочую полосу частот. Тем не менее, представляемый Т-циркулятор имеет полосу рабочих частот около 5 % на уровне 20 Дб обратных потерь и КСВ не более 1.3 в этой же полосе. Для сравнения приведем параметры циркулятора ФЦВ1-26А, выпускаемого ПО “Коралл”. Рабочий диапазон частот 48 - 50 ГГц; рабочая полоса частот 4.08 %; прямые потери 0,75 дБ; обратные потери не менее 20 дБ; габаритные размеры 30×28×25,5 мм; масса 90 г.

Следует отметить, что на основе отработанной матрицы Т-циркулятора была отмакетирована матрица многоразового использования, предназначенная для изготовления многофункционального устройства, представляющего собой генератор Ганна с двухкаскадным усилителем мощности на ЛПД, причем в качестве развязывающих элементов использовались уже упомянутые Т-циркуляторы. Общий вид этого устройства показан на рис. 5. Представленное устройство легко может быть трансформировано в устройство со стабилизированной биконическим резонатором частотой генератора на диоде Ганна и выходным рупорным излучателем.

Таким образом, показано, что применение предлагаемой технологии существенно снизить стоимость готового продукта, уменьшить массу и габариты.

1. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Гассанов Л. Г., Липатов А. А., Марков В. В., Могильченко Н. А. – М.: Радио и связь, 1988. - 288 с.
2. Альбин В. Г. Пути построения современных СВЧ-устройств для радиорелейных линий и спутниковых средств связи // 5-я Крымская конференция и выставка “СВЧ-техника и спутниковые телекоммуникационные технологии”: Матер. конф. Севастополь, Украина, 25-27 сентября 1995 г., т. 1, с. 11-15.
3. Яцуненко А. Г., Привалов Е. Н., Федосов В. В. Новая волноводно-интегральная технология для бортовой аппаратуры мм-диапазона // 2-я Международная конференция спутниковая связь, 23-27 сентября 1996, Москва, Россия, Доклады, том II, с.145-149.
4. Yatsunenکو A. G., Privalov E. N., Prokhorov E. F. Solid-State Millimeter-Wave Devices Based on Waveguide Integration Technology, Proceedings 5th International Symposium on Recent Advances in Microwave Technology, Kiev, Ukraine, September 11-16, 1995, vol.I, p.154-158.
5. Привалов Е. Н. О собственной добротности биконического резонатора // Электродинамика и физика СВЧ. – Днепропетровск: ДГУ, 1983, с. 45-48.

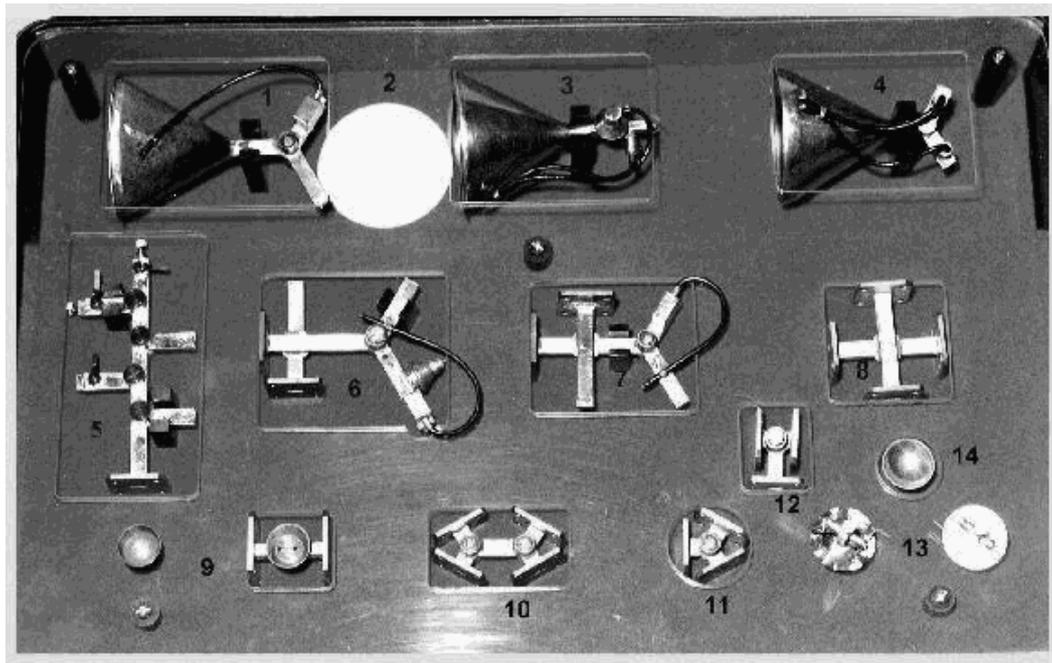


Рис. 1. Демонстрационный набор элементов и узлов связной аппаратуры КВЧ диапазона

1. Излучающий модуль с рупорной антенной и ферритовой развязкой генератора.
2. Диэлектрическая линза.
3. Излучающий модуль с рупорной антенной и генератором, стабилизированным по частоте биконическим резонатором.
4. Излучающий модуль с рупорной антенной, ферритовым Y-циркулятором и смесительной камерой.
5. КВЧ-генератор на гиоде Ганна с двухкаскадным усилителем мощности на ЛПД.
6. Излучающий модуль со стабилизированным по частоте генератором, ферритовой развязкой и направленным ответвителем для контроля мощности генератора.
7. Излучающий модуль с ферритовой развязкой и направленным ответвителем.
8. Крестообразный направленный ответвитель.
9. Стабилизирующий биконический резонатор в разобранном виде.
10. Цепочка Y-циркуляторов.
11. Y-циркулятор.
12. T-циркулятор.
13. Миниатюрный генератор для МРТ-терапии.
14. Параболический отражатель.

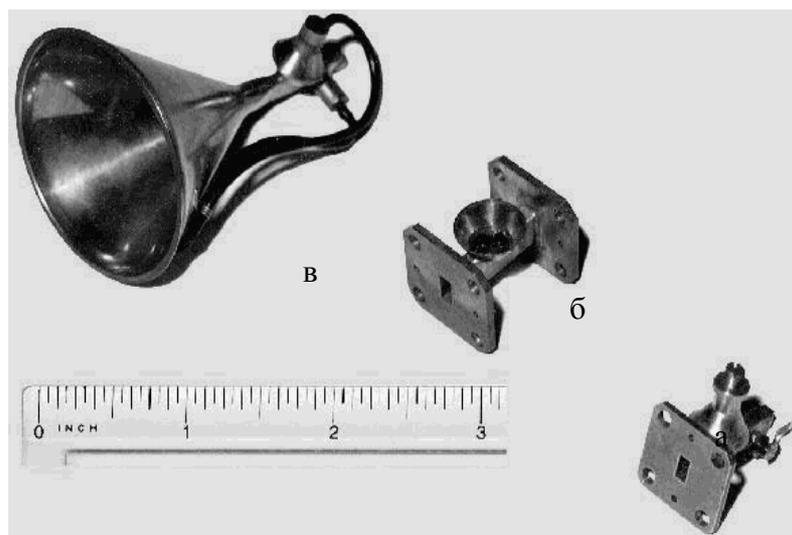


Рис. 2. (а) Генератор на диоде Ганна со стабилизирующим биконическим резонатором; (б) биконический резонатор в разобранном виде; (в) излучающий модуль со стабилизированной частотой

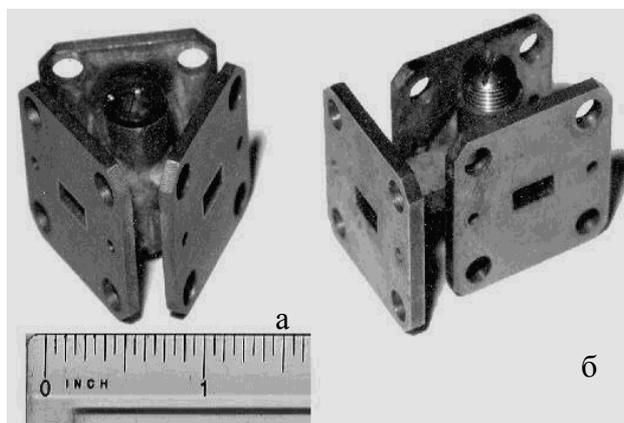


Рис. 3. Волноводные циркуляторы Y (а) и T (б) КВЧ-диапазона длин волн, изготовленные методом гальванопластики

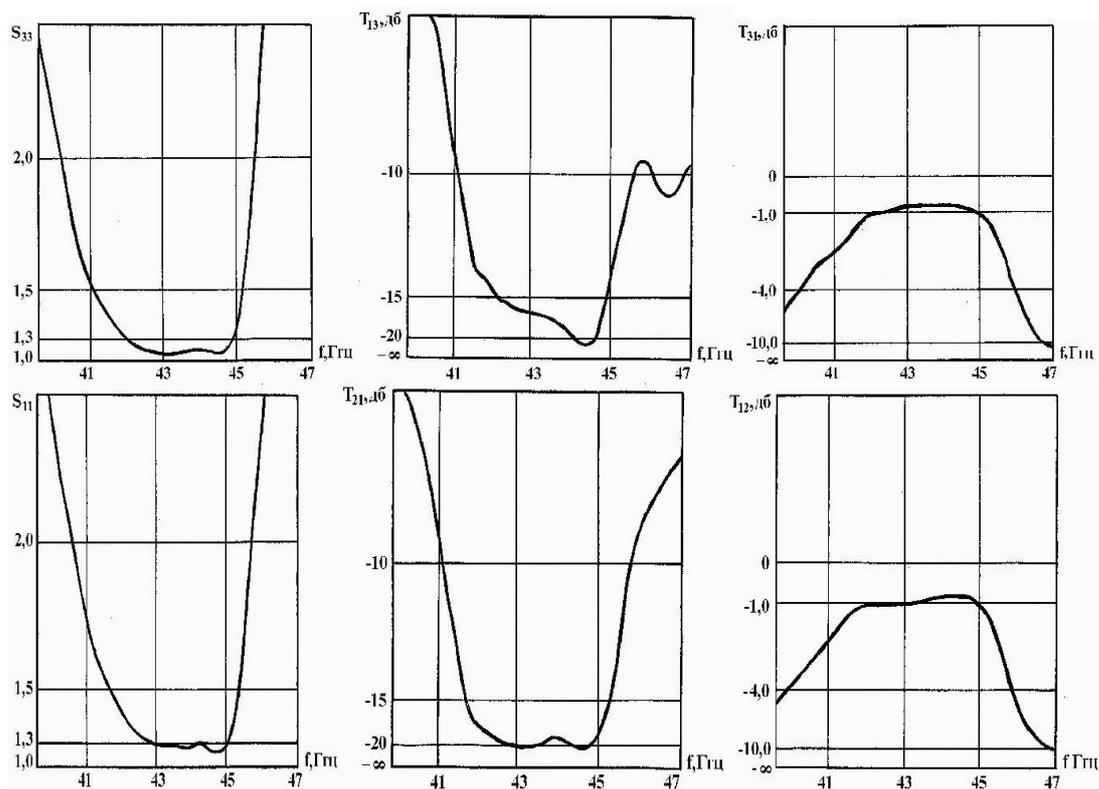


Рис. 4. Частотные зависимости коэффициентов передачи T_{12} , T_{31} в прямом, T_{21} , T_{13} — обратном направлениях и коэффициентов стоячей волны S_{11} , S_{33} Т-образного волноводного циркулятора

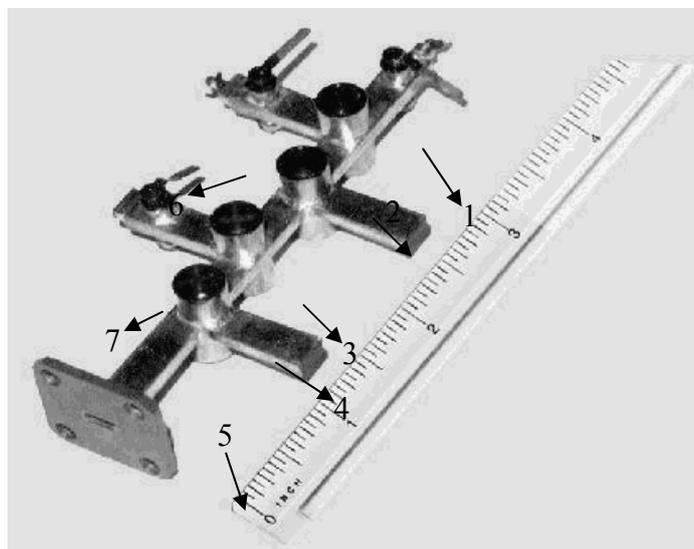


Рис. 5. КВЧ-генератор с двухкаскадным усилителем мощности. 1 — генератор на диоде Ганна; 2-5 — Т-циркуляторы; 6, 7 — усилители мощности на ЛПД