

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОДГОНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ЧАСТОТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЛЕНОЧНЫХ МОЩНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПЛАНАРНЫХ РЕЗИСТОРОВ

И. Г. Белков, Ю. В. Еремеев, И. Н. Малышев

Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

Получена 27 сентября 2011 г.

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния подгонки сопротивления и топологических параметров мощных высокочастотных планарных резисторов на их частотные характеристики. Даны рекомендации по способам подгонки и оптимизации топологии.

Ключевые слова: мощный резистор, высокочастотный резистор, подгонка сопротивления.

Abstract. The article presents the experimental studies results for resistance trimming and topological parameters influence of powerful high-frequency planar resistors on their frequency characteristics. Recommendations on ways for trimming and topology optimization are given.

Keywords: powerful resistor, high-frequency resistor, resistance trimming.

Внедрение и развитие систем мобильных коммуникаций в диапазоне частот свыше сотен мегагерц, требует разработки современных электронных компонентов, одними из которых являются мощные высокочастотные планарные резисторы, использующиеся в качестве оконечных нагрузок, в устройствах суммирования и деления мощности и др. Важнейшим комплексным параметром мощных высокочастотных резисторов является соотношение номинальной рассеиваемой мощности и рабочего диапазона частот.

Частотно-мощностные параметры резисторов определяются конструкцией [1] и технологическими возможностями производства. При условии, что

материалы подложки, резистивных пленок и контактов неизменны, значительное влияние на показатели стабильности [2, 3] и частотные параметры оказывают конфигурация топологического рисунка и способы подгонки сопротивления к номинальному значению. В настоящее время широко применяется лазерная подгонка.

Топологические рисунки пленочных планарных резисторов имеют разнообразные конфигурации – меандровую, прямоугольную, трапецидальную, с интегрированными согласующими реактивными элементами и более сложные. Некоторые топологии представлены на рис. 1. На этом же рисунке приведены наиболее распространенные виды подгонки.

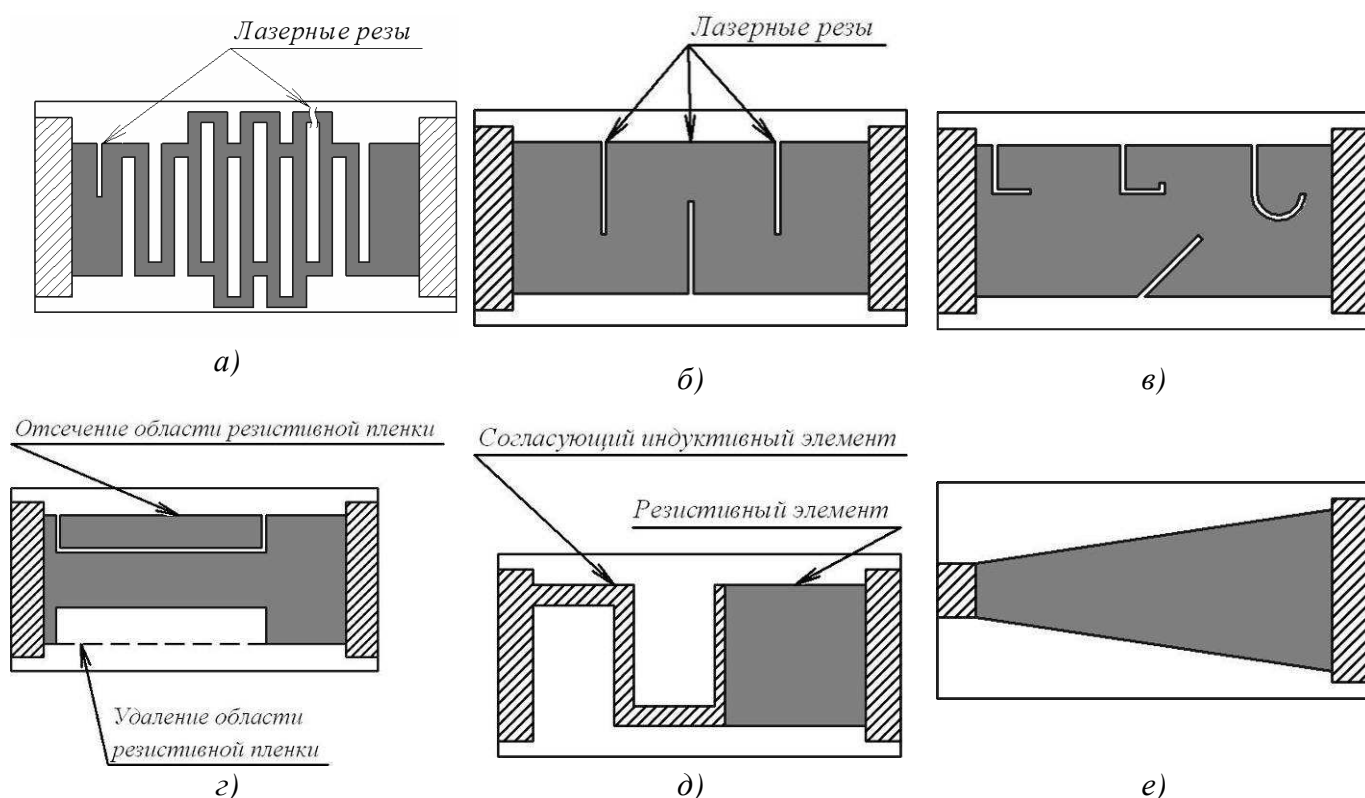


Рис. 1. Топологические рисунки пленочных планарных резисторов

Резисторы с меандровой топологией (рис. 1а) обладают повышенными значениями индуктивного сопротивления и применяется в низкочастотных резисторах для получения номинальных значений сопротивления выше единиц килоом. Они подгоняются перерезанием перемычек и (или) поперечными прорезами в области точной подгонки. Низкочастотные маломощные

низкоомные чип-резисторы имеют прямоугольную топологию и подгоняются L, J и другими видами резцов (рис. 1б и 1в).

Для высокочастотных резисторов наиболее распространены топологии в виде прямоугольника и трапеции, имеющие минимальные реактивные параметры.

Подгонка мощных высокочастотных резисторов с прямоугольной топологией резистивного элемента зачастую осуществляется, как представлено в верхней части рис. 1г – отсечением области резистивной пленки. При этом нерабочая область резистивной пленки физически остается в резисторе.

Подгонка приводит к уменьшению рабочей площади резистивной пленки, что хотя и улучшает частотные параметры, может привести к снижению показателей стабильности и надежности [4]. Поэтому на практике рабочую площадь пленки уменьшают не более чем на 20–30 %.

Обобщенная эквивалентная схема замещения резистора на высоких частотах представлена на рис. 2. В зависимости от конкретной конструкции резистора некоторыми элементами схемы можно пренебречь, а некоторые являются определяющими. На рисунке обозначены следующие параметры: $C_{сех}$ – внешние паразитные емкости на корпус контактных площадок на плате для поверхностно монтируемых резисторов; C_p – паразитные емкости резистора на корпус; C_s – паразитная последовательная емкость между контактами резистора; L_c – паразитные индуктивности контактов или выводов резистора; L_s – паразитная последовательная индуктивность резистора; R – активное сопротивление резистора.

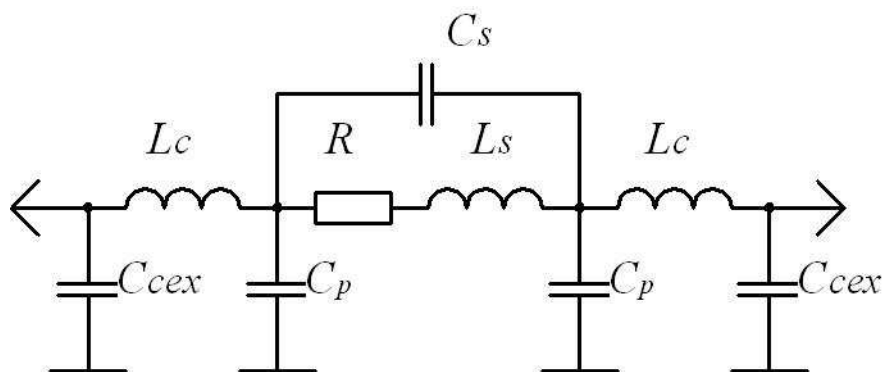


Рис. 2. Обобщенная эквивалентная схема замещения резистора

На частотные параметры маломощных чип-резисторов наибольшее влияние оказывают индуктивные элементы эквивалентной схемы и емкости $C_{сех}$.

Особенностью мощных планарных резисторов является металлизированная обратная сторона подложки (для монтажа на теплоотвод). Обычно теплоотводом является электрически соединенный с общей шиной устройства корпус. Таким образом, мощные резисторы характеризуются повышенным значением емкости на корпус. Эквивалентные схемы мощных резистора и оконечной нагрузки представлены на рисунках 3а и 3б соответственно.

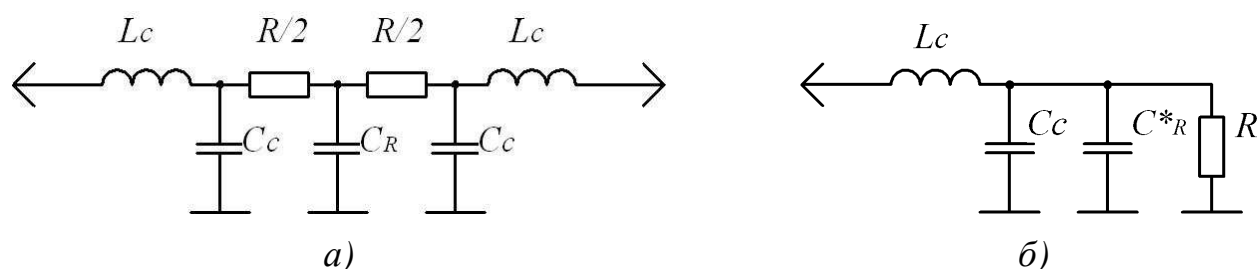


Рис. 3. Эквивалентные схемы мощных планарных резистивных компонентов

Емкость C_p (рис. 2) для схем, показанных на рис. 3, представлена в виде емкости контактных площадок (C_c) и резистивного элемента (C_R). Можно показать, что эквивалентная емкость C^*_R в случае замыкания резистора на корпус в 3 раза меньше емкости C_R [5].

Для расширения диапазона частот работоспособности резисторов, посредством компенсации емкости на корпус, используются интегрированные индуктивные элементы. При подгонке сопротивления резисторов с интегрированными реактивными элементами возможна подгонка как активного, так и реактивных сопротивлений.

Ниже приведены результаты экспериментальных исследований частотных параметров мощных пленочных планарных резисторов с прямоугольной топологией резистивного элемента, которые показывают, что одни и те же резисторы с отсеченной и удаленной областью резистивного элемента на

практике имеют несколько отличные частотные параметры при одинаковой удельной рассеиваемой мощности. Это обуславливается емкостной связью рабочей и нерабочей областей, возникающей в области лазерного реза шириной не более 20–30 мкм. На рис. 4а и 4б представлены эквивалентные схемы оконечной нагрузки после подгонки отсечением и удалением области резистивного элемента соответственно.

Эквивалентная емкость резистивного элемента до подгонки $C_R = C_{R1} + C_{R2}$, после подгонки отсечением области определяется выражением $C_R^1 = C_{R1} + \frac{C_{R2}C_{gap}}{C_{R2} + C_{gap}}$, а после подгонки удалением области $C_R^2 = C_{R1}$. C_{R2} – емкости, соответственно, рабочей и нерабочей отсекаемой (после подгонки) областей резистивной пленки. C_{gap} – емкость связи рабочей и нерабочей областей. Таким образом, $C_R^2 < C_R^1$.

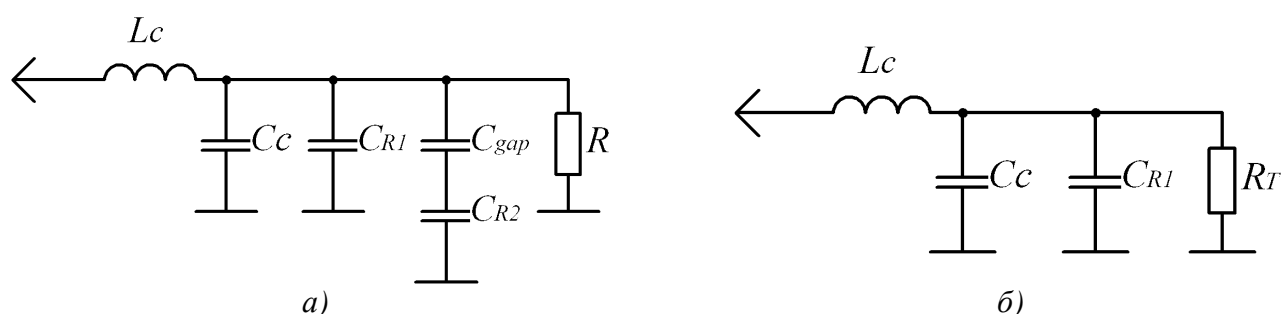
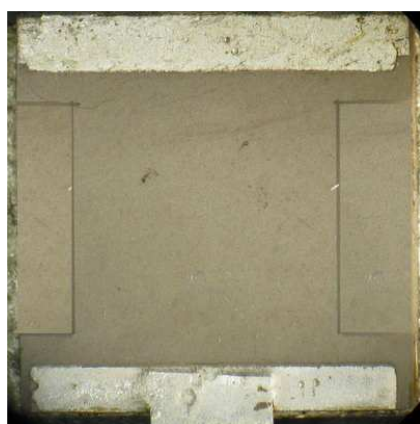
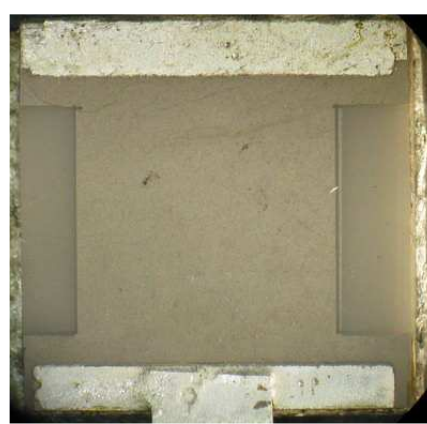


Рис. 4. Эквивалентные схемы оконечной нагрузки с различными видами подгонки

Проявление указанного эффекта для одного и того же образца с различными видами подгонки (рис. 5) иллюстрируется на рис. 6.



а)



б)

Рис .5. Экспериментальный образец с подгонкой отсечением и удалением областей

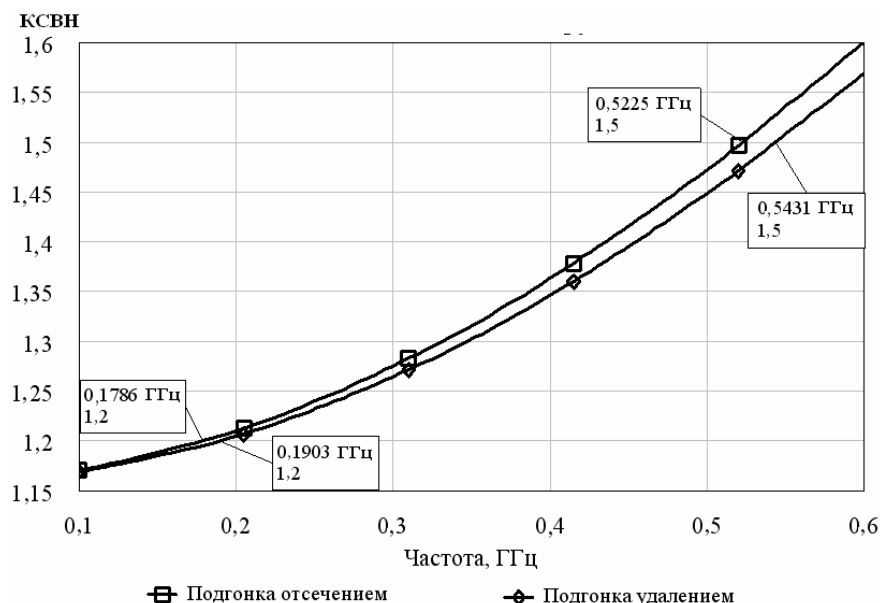


Рис. 6. Влияние на частотные параметры резистора отсеченных областей

Из рис. 6 следует, что по уровню коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) 1,2 при подгонке удалением области диапазон частот расширился на 6,6 %, а по уровню 1,5 – на 3,9 %. Проявление эффекта заметнее для меньших габаритов резисторов, ввиду увеличения сопоставимости емкостной связи с емкостями отсекаемых областей резистивного элемента.

Кроме влияния на частотные параметры при подгонке отсечением в лазерных прорезах между рабочей и нерабочей областями могут происходить электрические пробой, приводящие к выходу резистора из строя. Этот эффект проявляется, когда на резистор подаются сигналы мощностью порядка и более киловатта в импульсе. При этом на отсеченных нерабочих областях, вследствие изоляции от рабочих, наводится значительный потенциал, превышающий порог пробоя.

Уменьшение емкости входной площадки значительно расширяет диапазон рабочих частот. На рис. 8 представлен экспериментальный образец резистора с различной длиной L контактных площадок при их равной ширине. На рис. 9 представлены его характеристики, из которых следует, что при подключении резистора со стороны меньшей по площади контактной площадки рабочий диапазон частот расширяется на 36,8 % (по уровню КСВН 1,2). Таким образом,

входные контактные площадки должны иметь минимальную площадь, ограниченную требуемой надежностью монтажного соединения.

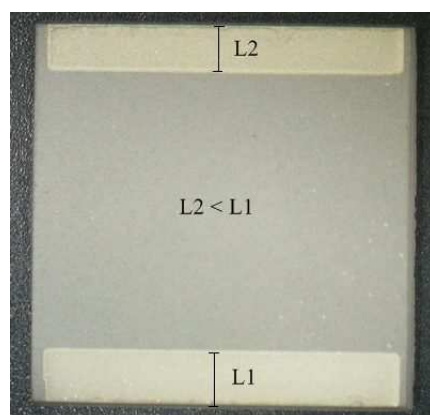


Рис. 7. Экспериментальный образец резистора с различными длинами контактов

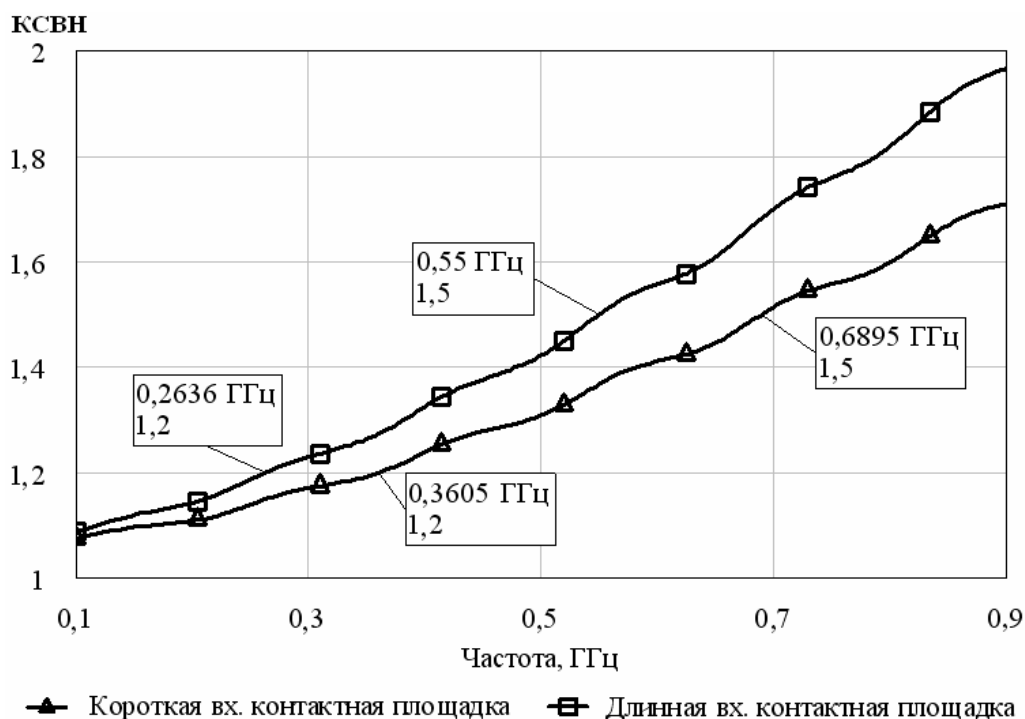


Рис. 8. Частотные зависимости резистора, подключаемого с разных сторон

Представленный эффект также проявляется при несимметричной (относительно поперечной оси) подгонке отсечением или удалением областей резистивного элемента (рис. 9). При равных размерах контактных площадок КСВН со стороны верхней контактной площадки (в соответствии с рис. 9) больше, чем при измерении со стороны нижней контактной площадки.

Частотные зависимости КСВН при подключении с различных сторон представлены на рис. 10 соответственно.

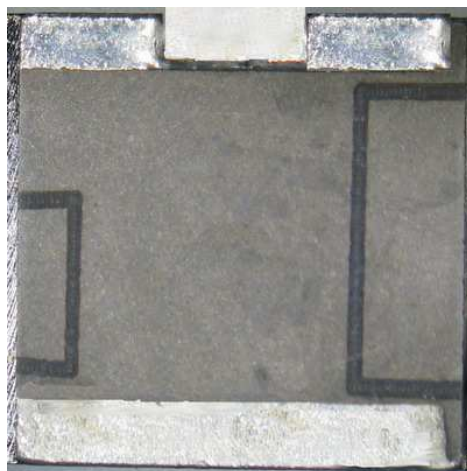


Рис. 9. Экспериментальный образец резистора с несимметричной подгонкой отсечением

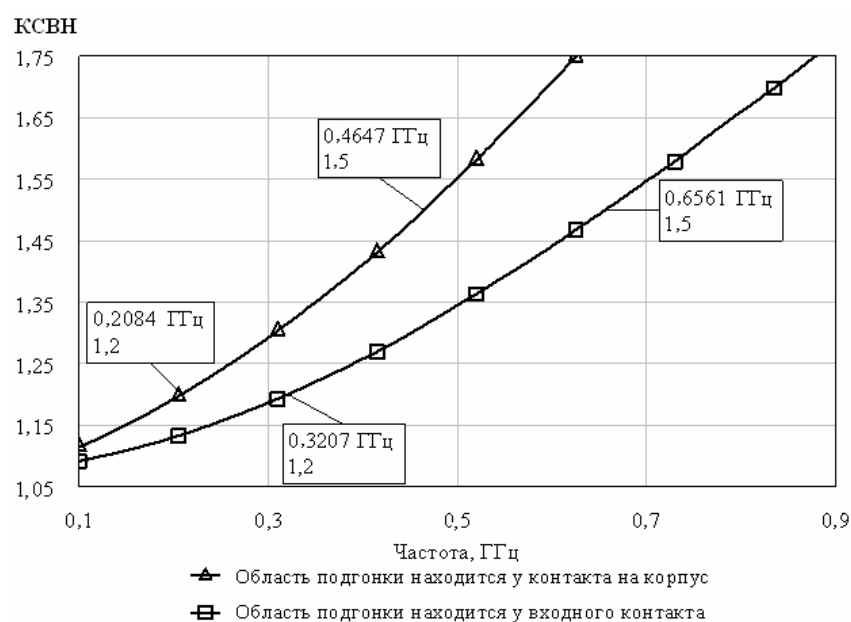


Рис. 10. Частотные зависимости резистора, подключаемого с разных сторон

Следствием этого эффекта является то, что нагрузки с трапецидальной топологией (рис. 1e) имеют лучшие частотные параметры в сравнении с нагрузками, имеющими прямоугольную топологию при равных площадях резистивной пленки. На рис. 11 представлены характеристики двух резисторов с трапецидальной и прямоугольной топологиями. Рабочий диапазон частот нагрузки с трапецидальной топологией почти в 2 раза шире даже при условии, что площадь ее резистивного элемента больше на 25%. Недостатком таких нагрузок является то, что они обладают пониженными мощностными

параметрами вследствие более неравномерного тепловыделения по поверхности резистивной пленки.

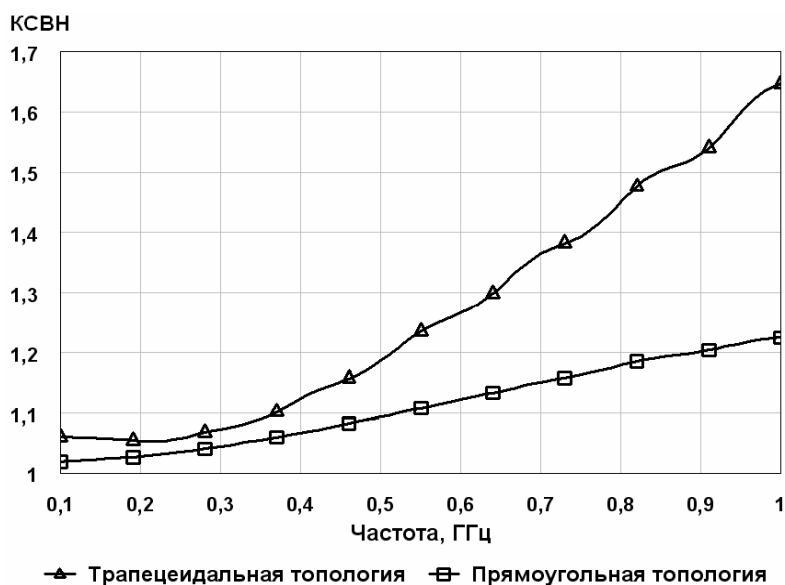


Рис. 11. Частотные зависимости резисторов с различными топологиями

Следовательно, наиболее предпочтительными являются профили подгонки представленные на рис. 12а и 12б. В случае подгонки (рис. 12б), как и в случае трапециевидной топологии, имеются перегруженные участки резистивной пленки. Максимально допустимые размеры удаляемых областей должны определяться по результатам испытаний надежности резисторов.

Равномерное симметричное удаление пленки по краям резистивного элемента

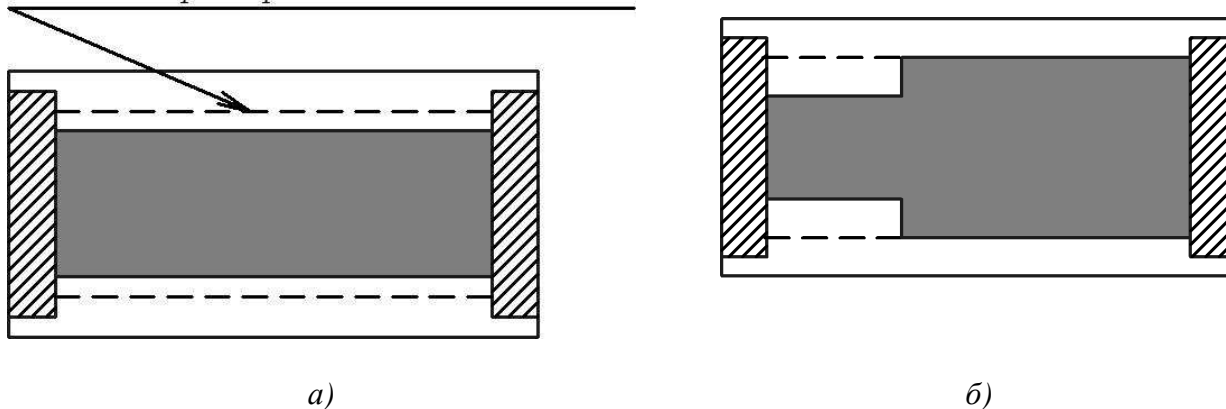


Рис. 12. Оптимальный профиль подгонки мощных пленочных планарных резисторов

Из результатов проведенных экспериментальных исследований следует:

1. площадь контактных площадок резистивного компонента должна быть минимизирована;
2. оптимальным профилем подгонки мощных пленочных планарных резисторов с прямоугольной топологией резистивного элемента, является подгонка посредством равномерного симметричного (относительно обеих осей) удаления пленки по краям элемента;
3. профиль, представленный на рис. 12б, целесообразно использовать при подгонке сопротивлений в значения, требующей, как правило, удаления не более 5 % от общей площади резистивной пленки.

Результаты исследований позволили создать мощные СВЧ резисторы, не уступающие по частотно-мощностным параметрам лучшим зарубежным аналогам.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Литература

1. Еремеев Ю. Мощные СВЧ-резисторы: оценка предельных частотно-мощностных характеристик / Ю. Еремеев, И. Малышев, С. Симаков // Электроника: наука, технология, бизнес.– 2010.– № 5.– С.90–94.
2. Ramirez-Angulo J. Improvement of laser trimmed film resistor stability by selection of optimal trim paths / J. Ramirez-Angulo, Wangf R., R. L. Geiger // IEEE International Sympoisum on Circuits and Systems. – 1991. – V. 4. – P. 2188–2191.
3. Burger G. A. Stability Analysis of Laser Trimmed Thin Film resistors / G. A. Burger // IEEE Transactions on Parts, Hybrids, and Packaging. – 1975. –V. 11. – P. 172–177.
4. Frequency Response of Thin Film Chip Resistors [Электронный ресурс] // Компания VISHAY INTERTECHNOLOGY: сайт. Системные требования Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.vishay.com/doc?49427> (дата обращения: 25.09.2011).

5. ATC Resistors and Terminations: Engineering Guidelines Design, Test and Measurement, Performance and Mounting [Электронный ресурс] // Корпорация American Technical Ceramics Corp. (ATC): сайт. Системные требования Adobe Acrobat Reader. URL: http://www.atceramics.com/documents/notes/Resistive_eng_guidelines.pdf (дата обращения: 25.09.2011).