

СЕРИЯ 1

ЭЛЕКТРОНИКА СВЧ

ВЫПУСК 1 (349)

1983

Измерения проводились при анодном напряжении 4000 В методом диафрагмы с малым отверстием по уровню 1/40 от максимального значения плотности тока в поперечном сечении пучка, что соответствует для данного колоколообразного распределения плотности тока 99% всех электронов. Сопоставление с расчетом показывает, что расплывание электронного пучка может быть удовлетворительно объяснено наличием поперечных тепловых скоростей электронов.

Следуя известной методике [3], из уравнения (6) легко получить соотношение для определения среднего радиуса электронного пучка в МПФС:

$$r_0^2 = a_p^2 \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + \frac{264U_{\perp \max}}{\rho_{\mu} U} \left(\frac{r_0}{a_p}\right)^2} \right], \quad (11)$$

где a_p — бриллюэновский радиус пучка в МПФС с амплитудой B_0 .

На рис. 3 представлена вычисленная по формуле (11) зависимость микропервеанса ρ_{μ} от анодного напряжения и компрессии S для случая, когда под воздействием тепловых

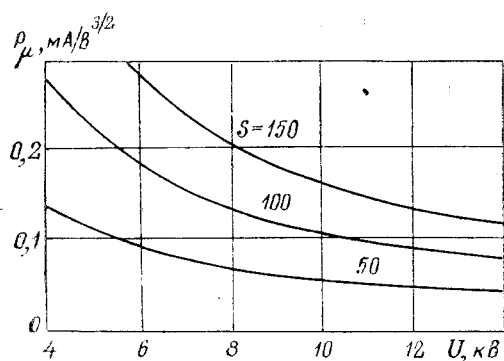


Рис. 3. Область параметров ЭОС, при которых радиус электронного пучка определяется в основном влиянием теплового разброса электронов по скоростям ($U_{\perp} = 0,5$ В).

скоростей ($v_{\perp \max} = 0,5$ В) радиус пучка увеличивается в 2 раза по сравнению с бриллюэновским ($r_0 = 2a_p$). Как видно из рисунка, при больших компрессиях электронного пучка и первеансах ЭОС, меньших $0,1$ мкА/В^{3/2}, радиус пучка в основном определяется тепловым разбросом электронов по скоростям.

Для пренебрежимо малого пространственного заряда (11) преобразуется к виду

$$r_0 = 2 \sqrt{\frac{U_{\perp \max} r_k^2}{\eta B_0^2}}. \quad (12)$$

Из полученного соотношения следует, что для низкопервеансных ЭОС радиус электронного пучка зависит от размеров и температуры катода и изменяется пропорционально $B_0^{-1/2}$, в отличие от ЭОС со средним и большим первеансом, где изменение радиуса пучка пропорционально B_0^{-1} .

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахрах Л. Э. Об оценке влияния тепловых скоростей в электронных пучках. — Радиотехника и электроника, 1961, т. 6, с. 656.
2. Негман Г. Optical Theory of Thermal Velocity Effects in Cylindrical Electron Beams. — Journ. of Appl. Ph., 1958, vol. 29, pp. 127—136.
3. Алямовский И. В. Электронные пучки и электронные пушки. — М.: Советское радио, 1966, 456 с.

4. Страусс Р. Лампы бегущей волны для спутников связи. — ТИИЭР, 1977, т. 65, № 3, с. 123—139.

5. Капчинский И. М. Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях. — М.: Атомиздат, 1966, 311 с.

6. Лукошков В. С. Электростатическое расталкивание электронов в пучке. — ЭТФ, 1936, т. VI, вып. 1, с. 26.

Статья поступила 29 марта 1982 г.

УДК 621.372.061

В. В. Конин, Л. А. Бутырина, Н. С. Сыч

ВЛИЯНИЕ ДЛИН РЕЗИСТОРОВ И РАЗБРОСОВ ВОЛНОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИИ НА ПАРАМЕТРЫ ДВУХКАНАЛЬНОГО ДЕЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

Исследовано влияние длин балластных резисторов и изменения волновых сопротивлений на $K_{стU}$ плеч, развязку между каналами и коэффициенты передачи семикаскадного двухканального делителя мощности с коэффициентом перекрытия по частоте 10 : 1.

С помощью ЭВМ установлена зависимость изменения частотных характеристик многокаскадного двухканального делителя мощности СВЧ от разбросов длин резисторов и волновых сопротивлений.

Показано хорошее совпадение расчетных характеристик делителя с экспериментальными данными.

Анализ делителя, расчетные значения волновых сопротивлений линий передачи и балластных резисторов были даны в работе [1].

В данной работе исследуется влияние длины балластных резисторов и разбросов волновых сопротивлений линий передачи на $K_{стU}$ плеч, развязки между выходными каналами и коэффициенты передачи семикаскадного двухканального делителя мощности с коэффициентом перекрытия по частоте 10 : 1.

Для расчета характеристик делитель представлен в виде соединения отрезков и разветвлений линий передачи и распределенных резисторов. Параметры рассеяния линий передачи взяты из [2]. Параметры рассеяния разветвлений линий передачи рассчитывались по формулам работы [3]. Для определения параметров рассеяния распределенного резистора последний представлялся каскадным соединением отрезков линий передачи, между которыми включены «точечные» резисторы [4]. Длины отрезков линий передачи и величины «точечных» сопротивлений резисторов определяются номинальным значением и длиной балластного резистора, а также числом разбиений. В нашем случае взято 20 разбиений.

По известным параметрам рассеяния составляющих элементов с помощью рекуррентных соотношений [5] определяются параметры рассеяния делителя.

В процессе исследований, проведенных с помощью ЭВМ, была установлена граничная длина резисторов, при которой частотные характеристики параметров делителя начинали существенно отличаться от характеристик для случая «точечных» и «идеальных» резисторов. Далее было выявлено влияние разбросов волновых сопротивлений линий передачи на частотные характеристики делителя.

Результаты моделирования частотных характеристик делителя с резисторами, нормированная длина которых $l_{норм}$

составляет 0; 0,2; 0,3 длины четвертьволнового трансформатора, образующего одно звено делителя, приведены на рис. 1. Из рис. 1,а видно, что распределенный резистор оказывает незначительное влияние на $K_{стU}$ входа делителя в области нижних частот. В области верхних частот это влияние несколько больше. Как видим, влиянием длины резисторов на

характеристики делителя можно пренебречь при нормированной длине $l_{норм} < 0,2$.

При удлинении резистора $K_{стU}$ входа делителя значительно отличается от $K_{стU}$ делителя с «точечным» резистором. Так, при $l_{норм} = 0,3$ максимальное значение $K_{стU}$ составляет

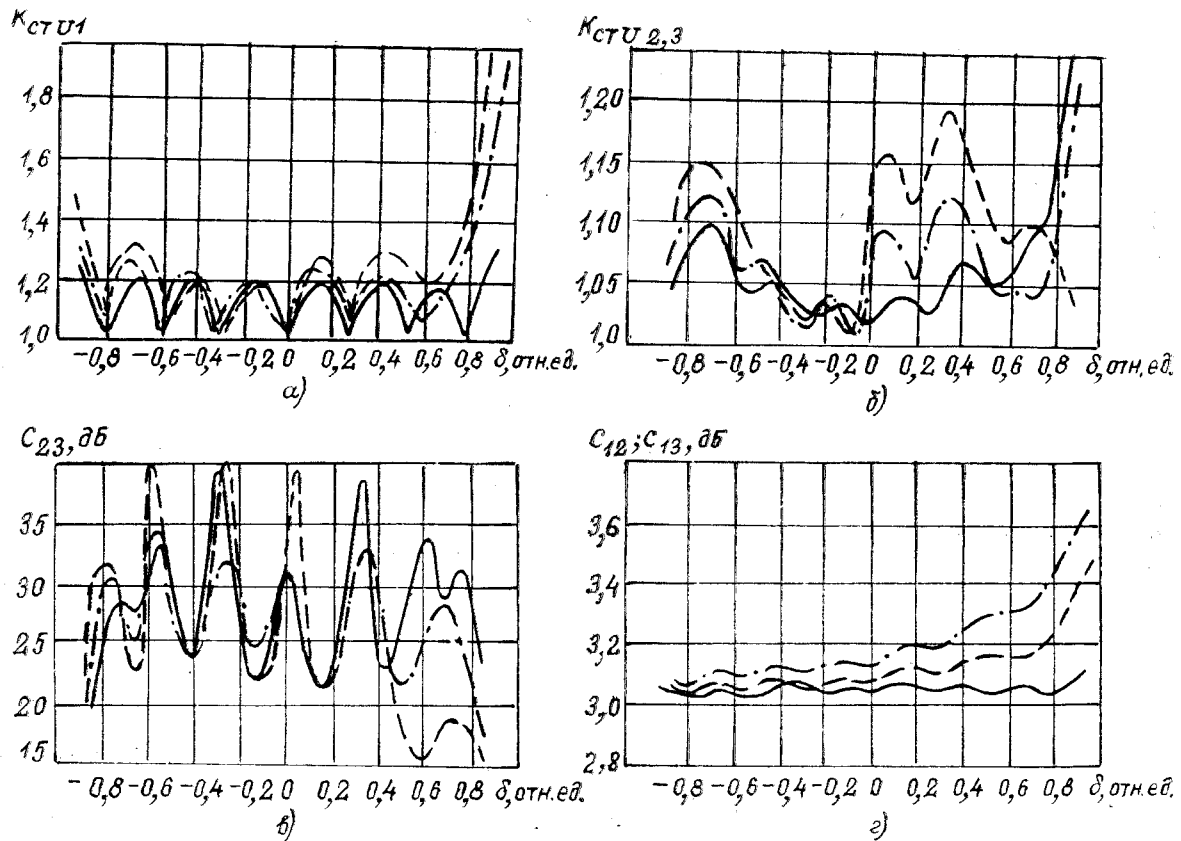


Рис. 1. Частотные характеристики делителя при нормированной длине резисторов, равной 0 (—), 0,2 (---), 0,3 (-.-).

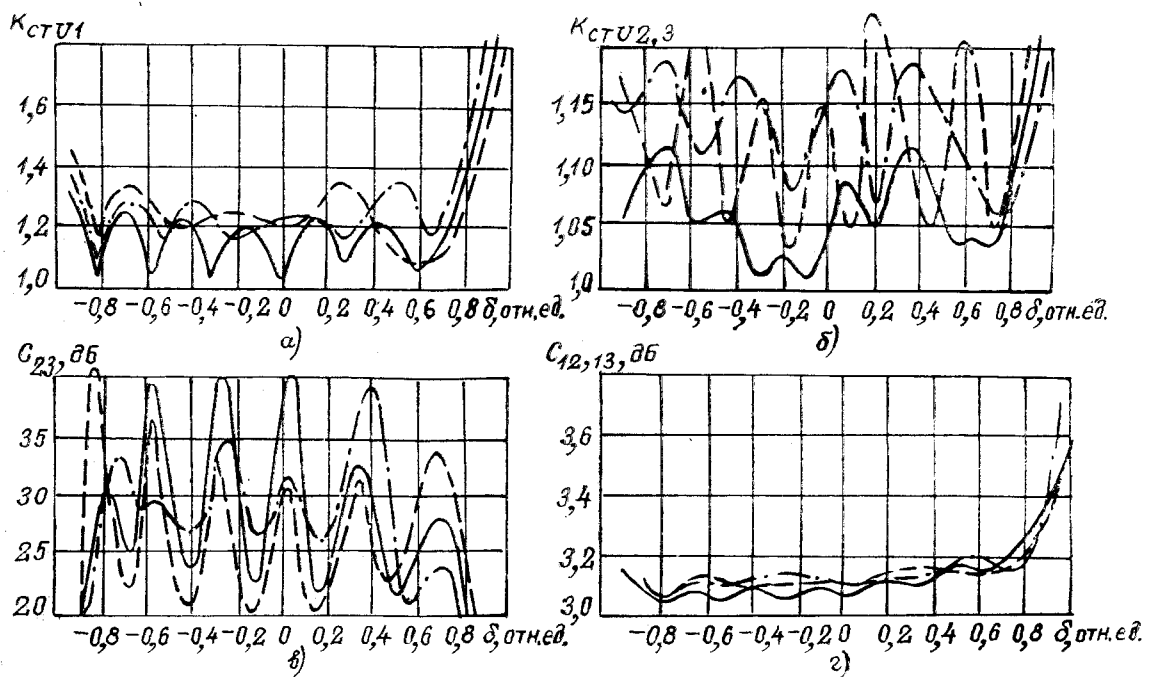


Рис. 2. Частотные характеристики делителя при номинальных значениях волновых сопротивлений (—) и их отклонении на $\pm 5\%$ (---) и на $\pm 10\%$ (-.-).

1,5 вместо 1,2 для «точечного» резистора. Значительно сильнее влияет длина балластных резисторов на $K_{стU}$ выходов делителя (рис. 1,б). Максимальное значение $K_{стU}$ выходов достигает 1,2 вместо 1,08, и вид частотной зависимости изменяется.

Частотная характеристика развязки (рис. 1,в) не претерпевает особых изменений до $l_{норм}=0,2$, а затем с ростом длины резистора резко ухудшается в области высоких частот. Коэффициент передачи делителя (рис. 1,г) снижается с увеличением длин резисторов. В частности, при расстройке $\delta=0,6$ и $l_{норм}=0,3$ он уменьшился до $-3,5$ дБ вместо $-3,07$ дБ для «точечного» резистора.

Исследование разбросов величин волновых сопротивлений линий на частотные характеристики параметров делителя производилось для случая, когда все частные отклонения волновых сопротивлений оказывают наибольшее влияние.

Как видно из рис. 2, при отклонении волновых сопротивлений линий на $\pm 5\%$ частотная зависимость $K_{стU}$ входа делителя практически не изменяется, а при отклонении на $\pm 10\%$ $K_{стU}$ входа видоизменяется, сглаживаются пульсации и максимальное значение $K_{стU}$ возрастает до 1,35.

Отклонение волновых сопротивлений линий оказывает значительное влияние на $K_{стU}$ выходов делителя (рис. 2,б). Максимальное значение $K_{стU}$ достигает 1,25, пульсации становятся более глубокими, изменяется характер кривой. При отклонении волновых сопротивлений на $\pm 10\%$ минимумы $K_{стU}$ переходят в максимумы.

Характер частотной зависимости коэффициента передачи делителя при изменении волновых сопротивлений линий аналогичен изменению характеристик $K_{стU}$ входа (рис. 2,в).

В целом можно сделать вывод, что изменение волновых сопротивлений линий в широкополосных многозвенных делителях значительно меньше влияет на частотные зависимости параметров рассеяния делителя, чем в однокаскадных делителях.

Для подтверждения правильности расчетных соотношений был изготовлен семикаскадный микрополосковый делитель на поликоровой плате размером 48×60 мм. Резисторы выполнялись методом напыления. Микрополосковая линия соединялась с коаксиальным разъемом сечением $7/3,04$ с помощью коаксиально-полосковых переходов. Характеристики делителя (рис. 3) исследовались с помощью автоматических измерителей $K_{стU}$ и ослаблений. На рис. 3 для сравнения показаны расчетные характеристики параметров для случая распределенных резисторов $l_{норм}=0,2$. Рассмотрение этих зависимостей показывает хорошее качественное совпадение эксперимента с расчетом. Некоторые отклонения обусловлены несовершенством коаксиально-полосковых переходов. Они проявлялись в увеличении $K_{стU}$, а также в некотором изменении развязки.

В заключение можно отметить, что в семикаскадном двухканальном делителе влиянием длины распределенных резисторов при $l_{норм} < 0,2$ можно пренебречь. Балластные резисторы с $l_{норм} > 0,2$ существенно влияют на характеристики параметров делителя, и это влияние необходимо учитывать при разработке таких делителей. Заметное влияние отклонения волновых сопротивлений в семикаскадном делителе на характеристики параметров сказывается при величинах отклонения не менее $\pm 10\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Софн С. В. A Class of Broadband Three-Port TEM-Mode Hybrids. — IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, MTT-16, 1968, No 2.
2. Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П. Справочник по элементам волноводной техники. — М.: Советское радио, 1967.
3. Заикин Б. М., Кониин В. В. Определение параметров рассеяния разветвленной линии передачи. — Известия вузов СССР. Сер. Радиозлектроника, т. XVII, вып. 8, 1974.
4. Кониин В. В., Бутырина Л. А. Модели распределенных нагрузок СВЧ с поверхностным сопротивлением. — Радиотехника, 1981, т. 36, № 1, с. 64—66.
5. Алгоритмы и программы расчета сложных СВЧ устройств на ЭЦВМ «Мир». / Б. М. Заикин, В. В. Кониин, В. П. Нарбут, Ж. К. Платонова. — В сб. «Машинные методы проектирования СВЧ-устройств», ч. I, изд. МГУ, 1976, с. 73—106.

Статья поступила 4 июня 1982 г.

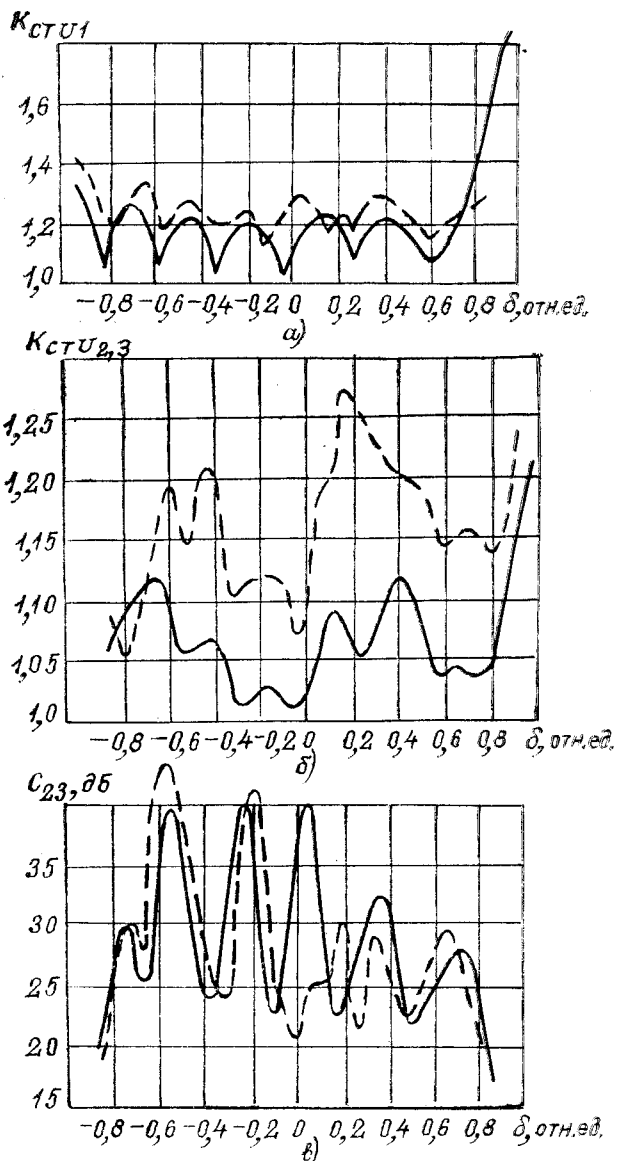


Рис. 3. Расчетные (—) и экспериментальные (---) частотные характеристики делителя при нормированной длине резистора, равной 0,2.