

5 к.

ОБЩЕСТВО "ЗНАНИЕ" УКРАИНСКОЙ ССР

В.В.КОНИН

АНАЛИЗ АМПЛИТУДНЫХ И ФАЗОЧАСТОТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ДЕЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ СВЧ

Киев - 1981

Общество "Знание" Украинской ССР

В. В. Конин, канд. техн. наук

Анализ амплитудных и фазочастотных характеристик
многоканальных делителей мощности СВЧ

Киев - 1981

Конги В.В., канд. техн. наук. Анализ амплитудных и фазочастотных характеристик многоканальных делителей мощности СВЧ. Общество "Знание" Украинской ССР, К.: 1981 (радиоэлектроника и вычислительная техника).

Приводится методика расчета амплитудно и фазочастотных характеристик делителей мощности с синтезированной частотной характеристикой коэффициента отражения входа. Исследуются АЧХ и ФЧХ делителей мощности на 8, 64, 4096 каналов. Показываются пределы отклонения ФЧХ от линейного закона. Формулируется метод расчета поля во внутренних цепях многоканальных делителей.

Брошюра рассчитана на инженерно-технических работников НИИ, КБ, а также студентов старших курсов вузов, занимающихся разработкой СВЧ устройств.

(Подготовлено и рекомендовано к печати научно-методическим советом Республиканского Дома экономической и научно-технической пропаганды. Секция радиоэлектроники и вычислительной техники).

© Общество "Знание Украинской ССР, 1981.

Широкое применение делителей мощности в радиоэлектронной аппаратуре СВЧ требует всестороннего исследования их амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и фазочастотных характеристик (ФЧХ). Передача СВЧ сигналов без искажений будет в том случае, если АЧХ делителя близка к равномерной, а ФЧХ близка к линейной.

В брошюре анализируются два основных типа делителя: делитель с синтезированной частотной характеристикой коэффициента отражения [1] и делитель, выполненный из однотипных двухканальных элементов деления [2].

Материал изложен по следующему плану:

1. Делитель с синтезированной частотной характеристикой коэффициента отражения.
2. Расчет делителя с требуемым делением мощности.
3. АЧХ и ФЧХ пятиканального делителя.
4. АЧХ и ФЧХ многоканальных делителей.
5. Определение распределения поля во внутренних цепях делителя.

АЧХ и ФЧХ многоканальных делителей рассчитаны на ЭЕМ с помощью программ, разработанных Л.А.Бутыриной и Ж.К.Платоновой.

ДЕЛИТЕЛЬ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

Схема делителя на N каналов приведена на рис. 1. На входе делителя имеется линия с волновым сопротивлением P_0 . Вход-

1-заказ 1842

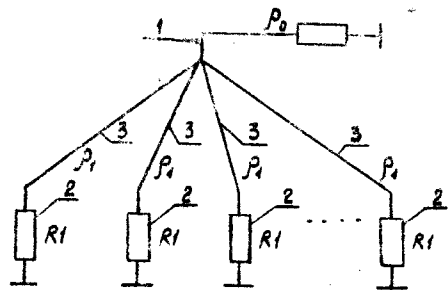


Рис. 1. Схема эквивалентная N -канального делителя мощности:

- 1 - входная линия с волновым сопротивлением P_0 ;
- 2 - выходные нагрузки с сопротивлением R_1 ;
- 3 - линии передачи длиной $\lambda/4$ и сопротивлением P_1 (λ_0 - длина волны на центральной частоте).

ная линия и нагрузки соединены линиями передачи длиной $\lambda/4$ с волновыми сопротивлениями P_1 . В сечениях, находящихся на расстоянии $\lambda/4$ от входа делителя, могут быть включены балластные нагрузки по схеме "звезда" или "многоугольник с диагоналями". Балластные нагрузки обеспечивают согласование со стороны выходов и развязки между выходными каналами.

Очевидно, что согласование входа делителя будет в том случае, если величина параллельного соединения сопротивлений R_1 , трансформируемых на вход делителя, будет равняться P_0 .

Величина сопротивления, трансформируемого на вход одним трансформатором

$$R_1^r = \frac{P_0^2}{R_1} \quad (1)$$

Величина параллельного соединения N таких сопротивлений

$$R_{\text{пар.}} = \frac{P_1^2}{NR_1} \quad (2)$$

Условие согласования с входа

$$P_0 = \frac{P_1^2}{NR_1} \quad (3)$$

Из выражения (1) величина волнового сопротивления трансформирующего отрезка линии

$$P_1 = \sqrt{N} \sqrt{P_0 R_1}, \quad (4)$$

если $R_1 = P_0$, то

$$P_1 = \sqrt{N} P_0 \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) можно получить и другим путем. В схеме (рис. 1) в сечениях, равноудаленных от входа, имеет место одинаковая разность потенциалов. Если эти сечения соединить между собой, то изменений токов и напряжений во входной линии не произойдет.

На рис. 2 входная линия представлена как нагрузка с сопротивлением P_0 , сопротивление выходных нагрузок равно параллельному соединению N сопротивлений R_1 :

$$R_{1, \text{пар.}} = \frac{R_1}{N} \quad (6)$$

Между нагрузками с сопротивлениями P_0 и $\frac{R_1}{N}$ включены отрезки линий передачи, соединенные параллельно.

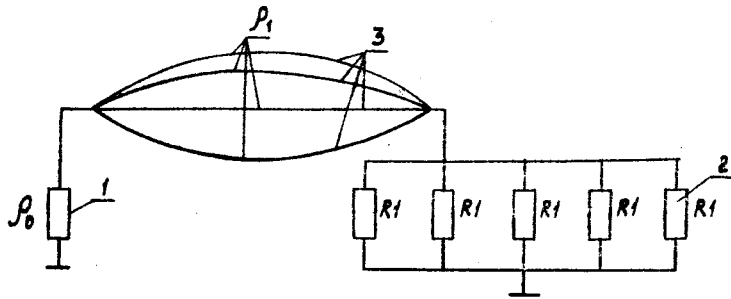


Рис. 2. Схема эквивалентная N -канального делителя мощности:

- 1 - входная нагрузка;
- 2 - выходная нагрузка;
- 3 - параллельное соединение линий передачи.

Если задать матрицу проводимости отрезка линии передачи

$$[Y] = \begin{bmatrix} -j \frac{1}{P} \operatorname{ctg} \theta & j \frac{1}{P \sin \theta} \\ j \frac{1}{P \sin \theta} & -j \frac{1}{P} \operatorname{ctg} \theta \end{bmatrix} \quad (7)$$

и представить линии как параллельное соединение четырехполюсников, то матрица проводимости параллельно соединенных линий на рис. 2 будет:

$$[Y_{\text{пар.}}] = \begin{bmatrix} -j \sum_{i=1}^N \frac{1}{P_i} \operatorname{ctg} \theta & j \sum_{i=1}^N \frac{1}{P_i} \sin \theta^{-1} \\ j \sum_{i=1}^N \frac{1}{P_i} \sin \theta^{-1} & -j \sum_{i=1}^N \frac{1}{P_i} \operatorname{ctg} \theta \end{bmatrix} \quad (8)$$

Из (7), (8) следует, что СВЧ-цепь параллельного соединения линий рис. 2 эквивалентна отрезку линии передачи с волновым сопротивлением

$$P_{1 \text{ пар.}} = \frac{P_1}{N} \quad (9)$$

Эта линия трансформирует сопротивление $R_{1 \text{ пар.}}$ в сопротивление

$$R = \frac{(P_{1 \text{ пар.}})^2}{R_{1 \text{ пар.}}} = \frac{P_1^2}{NR_1} \quad (10)$$

Формулы (2) и (10) совпадают. Это дает возможность вести расчет N -канальных делителей с требуемым распределением мощностей в выходных каналах, используя свойства эквипотенциальных проводников.

В схеме делителя (рис. 1) применена одна ступень трансформации между входной линией и нагрузками. Частотная зависимость коэффициента отражения входа делителя (рис. 1) такая же, как у четвертьволнового трансформатора с коэффициентом трансформации

$$K_{\text{тр.}} = \frac{P_0}{R_1} N. \quad (11)$$

При большом значении $K_{\text{тр.}}$ делитель по коэффициенту отражения входа имеет узкую полосу пропускания. Для расширения полосы пропускания можно применить несколько ступеней трансформации. При этом сохраняется возможность параллельного объединения нескольких нагрузок в одну эквивалентную и объединения ступеней трансформатора в соответствующие эквивалентные ступени. В этом случае для расчета коэффициента отражения входа делителя последний нужно рассматривать как ступенчатый переход между входной линией и

выходными нагрузками, соединенными параллельно,

РАСЧЕТ ДЕЛИТЕЛЯ С ТРЕБУЕМЫМ ДЕЛЕНИЕМ МОЩНОСТИ МЕЖДУ ВХОДНЫМИ КАНАЛАМИ

Имеется делитель на M каналов с равным делением мощности. Требуется получить делитель на N каналов с заданным распределением мощности между каналами. Выберем M таким, чтобы можно было M каналов объединить в N групп по a_i каналов в i -й группе так, чтобы выполнялись условия:

$$\sum_{i=1}^{N+1} a_i = M, \frac{a_i}{M} = P_i, \sum_{i=1}^{N+1} P_i = 1, \quad (12)$$

где i - номер канала делителя с требуемым делением; P_i - нормированная мощность в i -м канале делителя.

Объединение a_i каналов M -канального делителя в i -ю группу соответствует замене a_i выходных нагрузок и a_i четвертьволновых трансформаторов в каждой ступени на одну нагрузку и один трансформатор с эквивалентными сопротивлениями, уменьшенными в

a_i раз по отношению к сопротивлениям элементов канала M -канального делителя. Справедливость этого следует из равенства разности потенциалов в сечениях, равноудаленных от входа M -канального делителя. Очевидно, что объединить выходы M -канального делителя в n групп обязательно только в последней от входа ступени. Во всех промежуточных ступенях объединять каналы M -канального делителя можно в гораздо меньшее число групп, чем N . Как будет показано дальше, благодаря этому обстоятельству удается построить делитель на N каналов с требуемым делением мощности с синтези-

рованной характеристикой коэффициента отражения входа и разветвлениями линий передачи только на два канала. В таком делителе сопротивления нагрузок и выходных линий зависят от закона распределения мощности. Обычно требуется, чтобы делитель осуществлял требуемое деление в нагрузки с одинаковым и заданным сопротивлением. Для того, чтобы это выполнялось, между выходами делителя и нагрузками необходимо включать трансформаторы сопротивлений.

С учетом изложенного расчет делителя проводится в следующей последовательности:

1. Определяются нормированные значения мощностей в выходных каналах (P_i). Эти значения представляются в виде правильных дробей с наименьшим общим знаменателем. Числитель и знаменатель каждой из дробей интерпретируется так: наименьший общий знаменатель есть число M , числитель - число a_i .

2. Определяются каналы i , для которых числители дробей имеют минимальное и максимальное значения ($a_{i \min}, a_{i \max}$) и на условия

$$R_x / a_{i \min} < 130 \text{ Ом}, R_x / a_{i \max} > 10 \text{ Ом} \quad (13)$$

выбирается R_x - выходное сопротивление делителя на M каналов.

3. Определяется коэффициент трансформации по формуле

$$K_{\text{тр.}} = \frac{P_0}{R_x} M. \quad (14)$$

4. По заданному рассогласованию, полосе частот с помощью таблиц для ступенчатых переходов определяется минимальное количество четвертьволновых ступеней перехода n_{\min} [3].

5. Исходя из конструктивных соображений, выбирается количество ступеней в делителе

$$n > n_{\min}.$$

(15)

6. С помощью таблиц, приведенных в [3], по n и $|\Gamma|$ определяются нормированные волновые сопротивления ступеней $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$.

7. Производится объединение ступеней каналов делителя в эквивалентные ступени, исходя из возможности реализации волновых сопротивлений и приведения N -канального делителя к СВЧ-цепи, состоящей из двухканальных разветвлений.

8. Выполняется расчет эквивалентных ступеней по формуле

$$\rho_{эп} = \frac{R_x}{d_n} \rho_n, \quad (16)$$

где d_n - количество объединяемых ветвей.

9. Рассчитываются волновые сопротивления трансформаторов, трансформирующие выходные нагрузки делителя с разными сопротивлениями в нагрузки с одинаковыми сопротивлениями или в нагрузки с требуемыми сопротивлениями, если в этом есть необходимость.

10. Производится расчет балластных нагрузок двухканальных разветвлений. Для расчета балластных нагрузок выделим из N -канального делителя двухканальный (рис. 3). В этом делителе между плечами 2 и 3 включен точечный балластный резистор. При возбуждении делителя с плеча I в сечениях 2 и 3 одинаковая разность потенциалов и мощность в резисторе не рассеивается. При возбуждении делителя с плеча 2 (3) энергия поступает в плечо 3 (2) через резистор и по линиям с сопротивлениями ρ_2', ρ_3' . При соответствующем выборе сопротивления Z , длин линий с сопротивлениями ρ_2', ρ_3' энергия в плечо 3 (2) не поступает, а плечи 2 и 3 становятся согласованными.

10

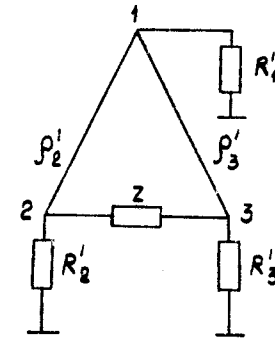


Рис. 3 Двухканальный делитель мощности:

Z - балластный резистор; 1, 2, 3 - плечи делителя; ρ_2', ρ_3' - волновые сопротивления четвертьволновых трансформаторов; R_1', R_2', R_3' - сопротивления, трансформируемые с выходов 2-канального делителя в сечения 1, 2, 3.

Обозначим через R_1', R_2', R_3' (рис. 3) сопротивления, трансформируемые с выходов N -канального делителя в сечения 1, 2, 3.

С учетом сделанных обозначений коэффициент передачи из плеча 2 в плечо 3 схемы рис. 3 [4]

$$S_{23} = \frac{2[Y_{12}Y_{13} - Y_{23}(1+Y_{11})]}{(1+Y_{11})[(1+Y_{22})(1+Y_{33}) - Y_{23}^2] - Y_{12}[(1+Y_{33})Y_{12} - Y_{13}Y_{23}] - Y_{13}[Y_{13} - (1+Y_{22}) - Y_{12}Y_{23}]}, \quad (17)$$

где $Y_{11} = -j \operatorname{ctg} \theta R_1' \left(\frac{1}{\rho_2'} + \frac{1}{\rho_3'} \right),$

$$Y_{12} = j \frac{\sqrt{R_1' R_2'}}{\rho_2'} \sin \theta^{-1}$$

$$Y_{13} = j \frac{\sqrt{R_1 R_3}}{\rho_3} \sin \theta,$$

$$Y_{23} = -\sqrt{R_2 R_3} / Z,$$

θ - электрическая длина отрезка линии передачи.
 При $\theta = \pi/2$, что соответствует центральной частоте, параметры проводимости в (17) записываются:

$$Y_{11} = 0; Y_{12} = j \sqrt{R_1 R_2} / \rho_2; Y_{13} = j \sqrt{R_1 R_3} / \rho_3; Y_{23} = -\sqrt{R_2 R_3} / Z. \quad (18)$$

На центральной частоте S_{23} равняется 0, если

$$Y_{12} Y_{13} = Y_{23} \quad (19)$$

Подстановка (19) в (18) дает

$$\frac{R_1}{\rho_2 \rho_3} = \frac{1}{Z} \quad \text{или} \quad Z = \frac{\rho_2 \rho_3}{R_1}. \quad (20)$$

Таким образом, сопротивления развязывающих резисторов вычисляются по формуле (20) с учетом соответствующих значений сопротивлений ρ_2, ρ_3, R_1 2-канального делителя.

II. Производится расчет амплитудно и фазочастотных характеристик делителя по алгоритму [5].

В качестве примера на рис. 4 показана схема пятиканального делителя, рассчитанная по приведенной выше методике. Распределение мощности между каналами соответствует закону косинус квадрат и равно 1/12, 3/12, 4/12, 3/12, 1/12 соответственно.

При расчете делитель рассматривается как ступенчатый переход с коэффициентом отражения $|\Gamma| = 0,05$, коэффициентом трансформации

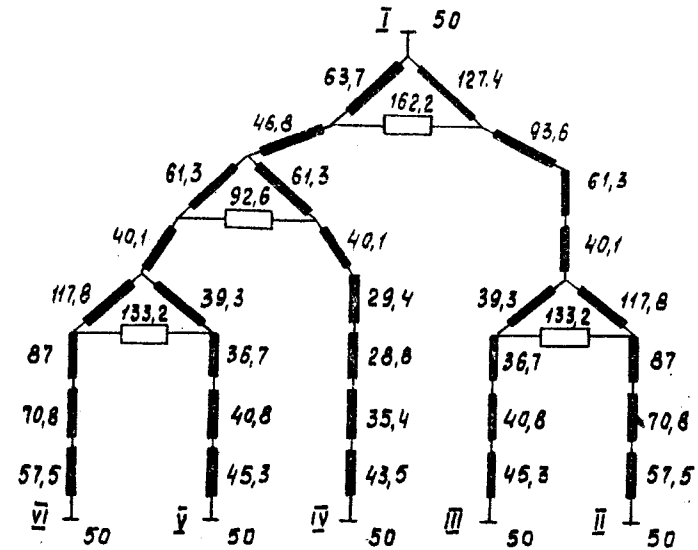


Рис. 4. Схема делителя на 5 каналов.

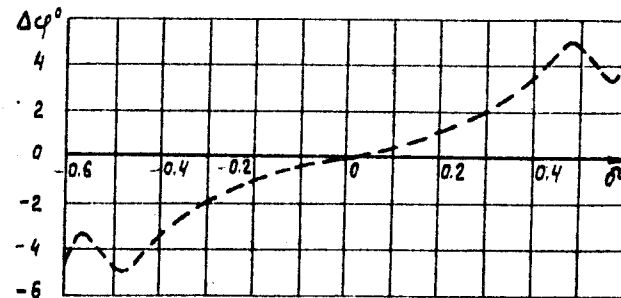


Рис. 5. Разброс фаз между каналами пятиканального делителя.

ции $K_{тр.} = 6$ и числом ступеней трансформации $n = 5$. На выходах делителя были использованы трехступенчатые трансформаторы. На рис. 4 цифрами обозначены номиналы волновых сопротивлений четверть-волновых трансформаторов, развязывающих резисторов и подводящих линий. Характерные частотные параметры делителя показаны на рис. 5 - 8.

Параметр $\Delta \varphi$ (рис. 5) показывает разброс фаз между выходными каналами в диапазоне относительной частотной расстройки $\delta = \frac{\Delta f}{f_0}$ (f_0 - средняя частота, Δf - абсолютная частотная расстройка). Для делителя характерно, что при одинаковой геометрической длине каналов электрическая их длина различна и с ростом относительной частотной расстройки это различие увеличивается. На рис. 6 показано отклонение фазы коэффициента передачи канала делителя от линейного закона $\varphi = -725,33^\circ \times \delta$. Из рисунка следует, что за пределами $\delta = \pm 0,3$ отклонение фазы от линейного закона имеет тенденцию к увеличению и составляет единицы градусов.

Рис. 7 и 8 характеризуют частотные зависимости КСВН входа и развязок между выходными каналами делителя. Другие параметры делителя в диапазоне относительных частотных расстроек $\delta = \pm 0,6$ следующие: КСВН выхода II не более 3 (на средней частоте I), КСВН выхода III не более 2,3 (на средней частоте I), КСВН выходов IV, VI не более 2,5 (на средней частоте I); амплитуды коэффициентов передачи каналов I-II, I-III, I-IV, I-V, I-VI лежат в пределах 10,6-11,6 дБ; 5,9-6,2 дБ; 4,7-5,3 дБ; 5,3-6 дБ; 10,6-10,9 дБ соответственно, развязки между каналами III и IV, II и IV, IV и V больше 16 дБ, 21 дБ, 10 дБ соответственно.

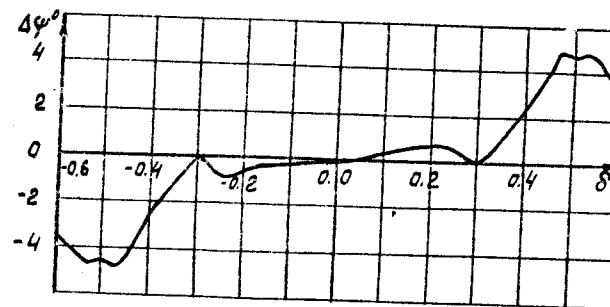


Рис. 6 Отклонение фазы коэффициента передачи от линейного закона.

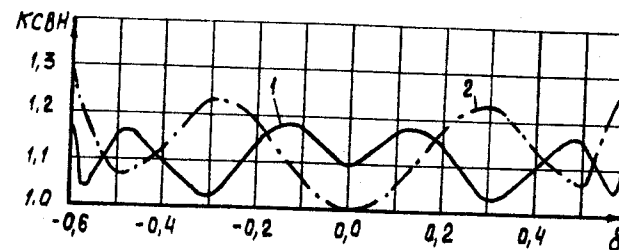


Рис. 7 Частотная зависимость КСВН:
1 - КСВН плеча I; 2 - КСВН плеча V.

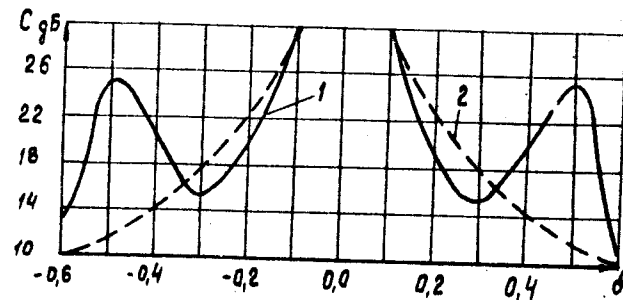


Рис. 8 Частотные зависимости развязок:
1 - между каналами II и III; 2 - между каналами V и VI.

ДЕЛИТЕЛИ, ВЫПОЛНЕННЫЕ ИЗ ОДИНАКОВЫХ ДВУХКАНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕЛЕНИЯ

Такого типа делители по сравнению с рассмотренными выше обладают рядом преимуществ. Главное преимущество заключается в том, что имеется определенная свобода в выборе соединительных линий между рядами элементов деления [6-9].

Рассмотрим факторы, влияющие на искажение АЧХ и ФЧХ многоканальных делителей, построенных из двухканальных элементов деления (рис. 9).

Коэффициенты передачи делителя записываются с помощью двух формул [5]:

$$S_{1,3} = \{ [1 - S_{33}^I S_{11}^{\bar{I}}] S_{12}^I + S_{13}^I S_{23}^{\bar{I}} S_{11}^{\bar{I}} \} S_{1,3}^{\bar{I}} A^{-1}$$

$$S_{1,r} = \{ [1 - S_{22}^I S_{11}^{\bar{I}}] S_{13}^I + S_{12}^I S_{23}^{\bar{I}} S_{11}^{\bar{I}} \} S_{1,r}^{\bar{I}} A^{-1} \quad (21)$$

$$A = (1 - S_{22}^I S_{11}^{\bar{I}})(1 - S_{33}^I S_{11}^{\bar{I}}) - [S_{23}^I]^2 S_{11}^{\bar{I}} S_{11}^{\bar{I}}$$

где $S^I, S^{\bar{I}}, S^{\bar{\bar{I}}}$ - коэффициенты рассеяния I, II, III делителя соответственно; p, r - номера плеч выходных каналов III и II делителей соответственно. Формулы (21) по структуре одинаковы, поэтому проанализируем первую. Из формулы видны три фактора, влияющие на АЧХ и ФЧХ: собственные коэффициенты передачи элементов делителя (S_{12}^I и $S_{13}^{\bar{I}}$); коэффициенты отражений элементов, в частности, члены $S_{22}^I S_{11}^{\bar{I}}$ и $S_{33}^I S_{11}^{\bar{I}}$ учитывают эффекты многократных переотражений; взаимное влияние каналов (член $S_{23}^I S_{23}^{\bar{I}} S_{11}^{\bar{I}}$). Если пренебречь взаимным влиянием каналов $S_{23}^I \rightarrow 0$, то первая формула в выражениях (21) запишется в

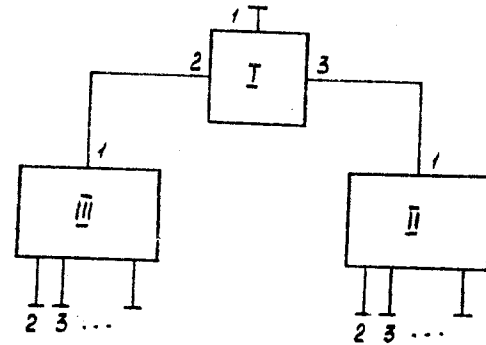


Рис. 9. Схема многоканального делителя мощности: I, II, III - элементы деления; 1, 2, 3 - нумерация плеч элементов деления.

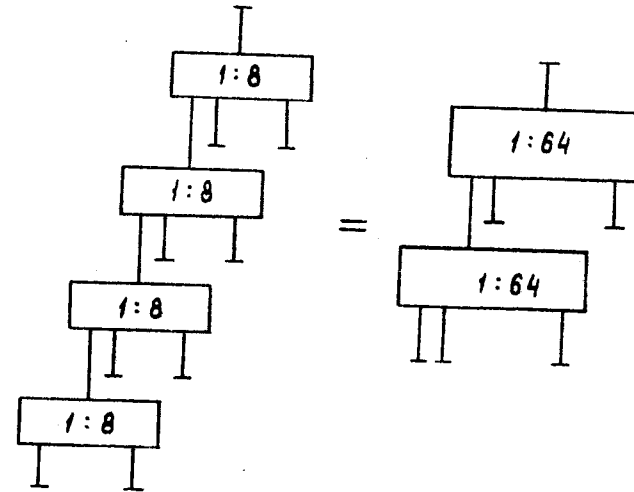


Рис. 10. Схема построения делителя на 4096 каналах.

виде:

$$S_{1,3} = \frac{S_{12}^I S_{13}^{II}}{1 - S_{33}^I \cdot S_{11}^{II}} \quad (22)$$

Выражение (22) по структуре точно такое же, как формула для определения коэффициентов передачи двух каскадносоединенных четырехполюсников. Из выражения (22) следует, что неравномерность АЧХ определяется неравномерностью АЧХ элементов делителя, а также неравномерностью за счет многократных перестраиваний (знаменатель в формуле (22)). Максимальная и минимальная амплитуды будут соответственно при $1 - |S_{33}^I S_{11}^{II}|$ и $1 + |S_{33}^I S_{11}^{II}|$. Вклад, вносимый многократными перестраиваниями ($\Delta\varphi$) в ФЧХ, оценим таким образом. Запишем знаменатель в формуле (22) в виде

$$1 - S_{33}^I S_{11}^{II} = 1 - \cos \varphi |S_{11}^{II} S_{33}^I| - j \sin \varphi |S_{11}^{II} S_{33}^I|, \quad (23)$$

где φ - аргумент произведения комплексных величин $S_{11}^{II} S_{33}^I$.

Из формулы (23)

$$\Delta\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\sin \varphi |S_{11}^{II} S_{33}^I|}{1 - \cos \varphi |S_{11}^{II} S_{33}^I|} \quad (24)$$

Из формулы (24) следует, что

$$\Delta\varphi_{\max} \approx \operatorname{arctg} |S_{11}^{II} S_{33}^I|, \quad (25, a)$$

$$\Delta\varphi_{\min} = 0. \quad (25, b)$$

При выполнении (25, a) искажения АЧХ минимальные, а при выполнении (25, b) максимальные.

Из формул (23-25) также можно заключить, что при проектиро-

вании многоканальных делителей необходимо принимать все меры для уменьшения отражений от входа. Только в многоканальном делителе с малыми отражениями от входа можно получить минимально искаженные АЧХ и ФЧХ.

Рассмотрим способ построения многоканального делителя с малыми коэффициентами отражения из делителей с меньшим количеством каналов со специально сформированными частотными зависимостями КСВН входов. Сущность способа заключается в следующем. Для схем типа приведенных на рис. 9, 10 при условии, что элементы схемы имеют малые диссипативные потери, с помощью формул работы [10] можно показать, что максимальный КСВН входов равен произведению КСВН элементов деления, расположенных в каждом из рядов многоканального делителя. Минимальный КСВН равен единице, если количество рядов три и более. Любое промежуточное значение КСВН между максимумом и минимумом может быть достигнуто путем изменения длин соединительных линий. Иными словами, в многоканальной разветвленной системе путем изменения длин соединительных линий между рядами элементов деления можно формировать КСВН входов системы.

В качестве примера рассмотрим АЧХ и ФЧХ делителя на 4096 каналов. Делитель построен по схеме рис. 9 из четырех рядов восьмиканальных делителей или двух рядов делителей на 64 канала (рис. 10). Восьмиканальные делители выполнены из двухканальных элементов [11] с балластным развязывающим резистором с относительной длиной, равной 0,06 [12]. Относительные длины соединительных линий между элементами деления в восьмиканальных делителях 1 и 2 рядов выбраны равными 0,6 и 1, 3 и 4 рядов - 0,593 и 1,06 соответственно. Относительные длины соединительных линий

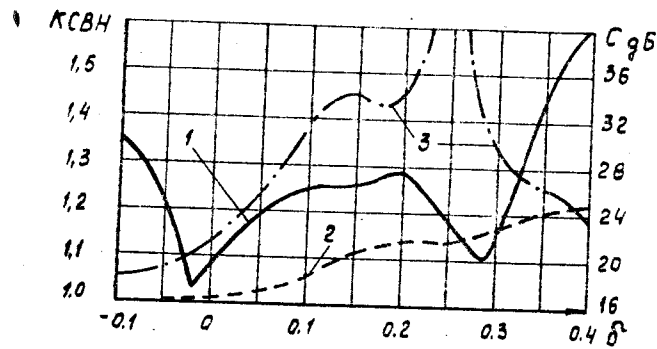


Рис. 11. Частотные характеристики делителя на 8 каналов с относительными соединительными линиями между рядами 0,593 и 1,06: 1 - КСВН входа; 2 - КСВН выхода; 3 - развязка между соседними выходными каналами.

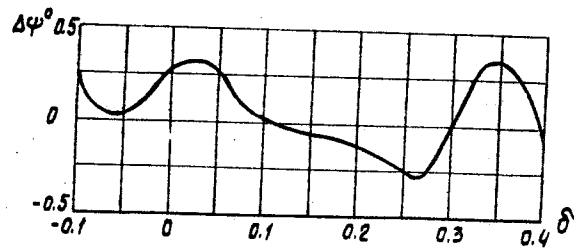


Рис. 12. Отклонение ФЧК от линейного закона делителя на 8 каналов.

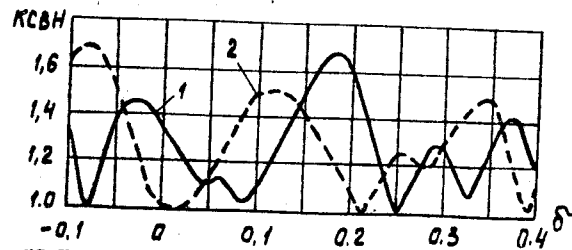


Рис. 13. КСВН входа делителя на 64 канала: 1 - соединительные линии 0,593; 1,06; 0,24; 0,593; 1,06; 2 - соединительные линии 0,6; 1; 0,6; 0,6; 1.

между 1,2,3,4 рядами восьмиканальных делителей выбраны 0,6; 20 и 0,24 соответственно.

Длины соединительных линий, указанные выше, выбраны из соображений получения малых отражений от входа всей системы делителей рис. 9, 10 путем подбора.

Частотные зависимости КСВН входа, развязок, а также зависимости отклонения ФЧК от линейного закона делителей приведены на рис. 11-17. Отметим, что для делителя на 4096 каналов в диапазоне относительных расстройок $\delta = -0,1 + 0,4$ амплитуда коэффициентов передачи канала лежала в пределах 36,7 ... 37,9 дБ, КСВН выходов был $\leq 1,2$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУД ВО ВРУЩЕННЫХ ЦЕПЯХ ДЕЛИТЕЛЕЙ

Эта задача возникает при работе делителя в режиме суммирования. Задача формулируется следующим образом. Пусть имеется многоканальный делитель мощности (рис. 18), представляющий опре-

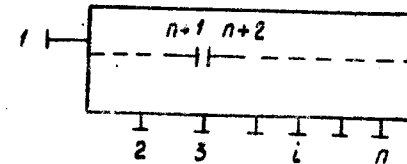


Рис. 18. Многоканальный делитель

деленную СВЧ цепь. Требуется определить амплитуду поля в определенном сечении СВЧ цепи при возбуждении ее с любого количества плеч. Для решения задачи выделим в СВЧ цепи сечение, в котором требуется определить амплитуду поля или величину, ей пропорцио-

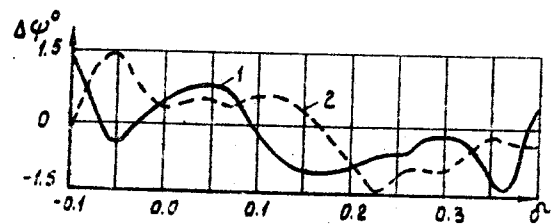


Рис. 14. Отклонение ФЧХ делителей на 64 канала от линейного закона: 1 - соединительные линии 0,593; 1,06; 0,24; 0,593; 1,06; 2 - соединительные линии 0,6; 1; 0,6; 0,6; 1.

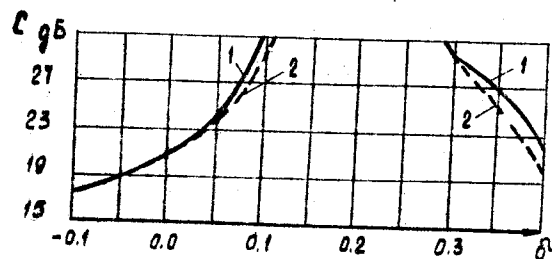


Рис. 15. Развязки между соседними выходными каналами делителей на 64 канала:
1 - соединительные линии 0,593; 1,06; 0,24; 0,593; 1,06;
2 - соединительные линии 0,6; 1; 0,6; 0,6; 1.

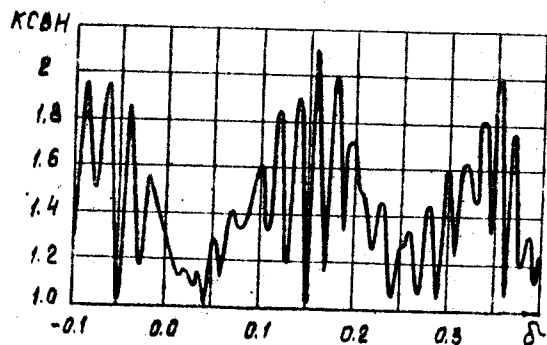


Рис. 16. КСВН входа делителя на 4096 каналов.

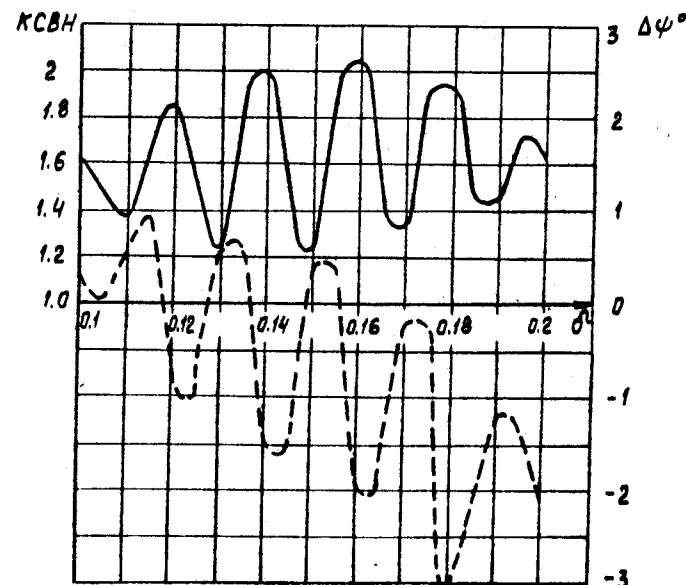
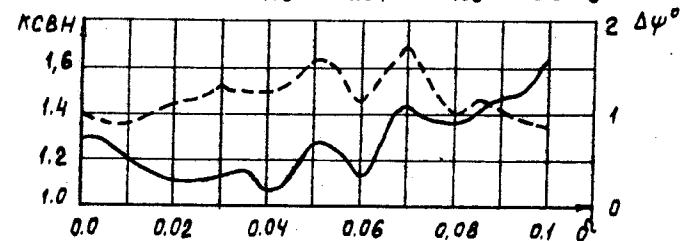
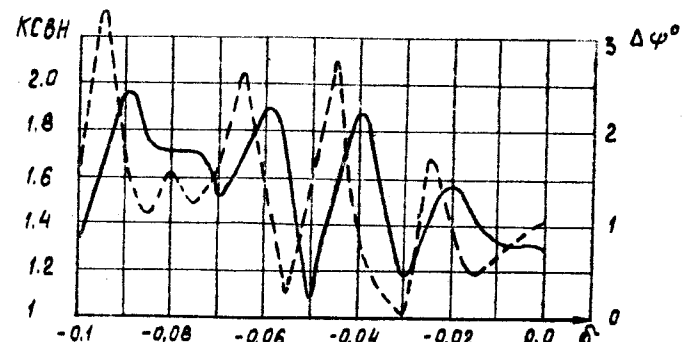


Рис. 17. Частотные характеристики делителя на 4096 каналов: - КСВН; — Δψ°

нальную. В этом сечении условно разорвем проводник и дополнительные плечи обозначим цифрами $n+1$ и $n+2$ (рис. 18). Определим матрицу рассеяния получившегося многополюсника. Введем ограничение - СВЧ цепь (рис. 18) возбуждается согласованными генераторами. Наложим условия связи на волны, проходящие через плечи $n+1$ и $n+2$, когда они соединены

$$\begin{aligned} b_{n+1} &= a_{n+2}, \\ b_{n+2} &= a_{n+1} \end{aligned} \quad (26)$$

Можно показать, что при возбуждении СВЧ цепи с плеча i волной с амплитудой a_i волны b_{n+1} и b_{n+2} будут:

$$\begin{aligned} b_{n+1} &= \frac{S_{n+1,i}(1-S_{n+1,n+2}) + S_{n+1,n+1}S_{n+2,i}}{(1-S_{n+1,n+2})(1-S_{n+2,n+1}) - S_{n+2,n+2}S_{n+1,n+1}}, \\ b_{n+2} &= \frac{S_{n+2,i}(1-S_{n+2,n+1}) + S_{n+2,n+2}S_{n+1,i}}{(1-S_{n+1,n+2})(1-S_{n+2,n+1}) - S_{n+1,n+1}S_{n+2,n+2}}. \end{aligned} \quad (27)$$

Результирующая амплитуда волны будет [13]:

$$b_{рез} = b_{n+1} + b_{n+2} \quad (28)$$

Если СВЧ цепь возбуждается со всех плеч, то результирующая амплитуда с учетом (27, 28) запишется в виде:

$$b_{рез} = \left\{ \sum_{i=1,2,3} [S_{n+1,i}(1-S_{n+1,n+2}) + S_{n+2,n+1}S_{n+1,i}] \times \right. \\ \left. \times (1-S_{n+2,n+1}) \cdot a_i \right\} \cdot [(1-S_{n+1,n+2}) \times \\ \times (1-S_{n+2,n+1}) - S_{n+1,n+1}S_{n+2,n+2}]^{-1} \quad (29)$$

В формулах (27-29) через S с индексами обозначены коэффициенты матрицы рассеяния СВЧ цепи (рис. 18).

Алгоритм (26) позволяет определять амплитудно-фазовое распределение поля внутри СВЧ цепи, что особенно важно при проектировании сумматоров высокого уровня мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. Alstadter, E.O. Houseman. *Strip Transmission Line Corporate Feed Structures For Antenna Arrays*. JRF National Convention Record, p. 3, 1959, march.
2. Заикин Б.М., Конин В.В., Платонова Ж.К. Метод определения параметров рассеяния фазированных антенных решеток - В кн.: Кибернетика и вычислительная техника, вып. 21. Киев: Наукова думка, 1974, с. 53.
3. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Советское радио, 1967.
4. Заикин Б.М., Конин В.В., Нарбут В.П., Платонова Ж.К. Алгоритмы и программы расчета сложных СВЧ-устройств на ЭЦМ "Мир" - В кн.: Машинные методы проектирования СВЧ-устройств. М.: МГУ, 1976, с. 77.
5. Заикин Б.М., Конин В.В. Методы и алгоритмы расчета цепей СВЧ. Киев: Знание, 1980.
6. Заикин Б.М., Конин В.В., Нарбут В.П. Новое в разработках СВЧ-устройств. Киев: Знание, 1979.
7. Конин В.В., Заикин Б.М., Бова Н.Т. Частотные характеристики коэффициентов передачи каналов систем распределения мощности СВЧ. - Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1978, XXI, №6.

8. Бова Н.Т., Конин В.В. Анализ АЧХ и ФЧХ делителей мощности СВЧ. - Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1980. XIII, №2.
9. Конин В.В. Сравнение частотных характеристик полосковых систем распределения мощности СВЧ. - В кн. Антенны /Под ред. А.А.Пистолькорса./М.: Связь, 1980, вып. 28.
10. Заикин Б.М., Конин В.В. Метод определения коэффициента отражения входа и коэффициента передачи с входа на выход многоканальных симметричных СВЧ-цепей. - В кн.: Опыт разработки СВЧ устройств. Киев: Знание, 1976.
11. Заикин Б.М., Моцглов А.А. К расчету шестипольсных СВЧ кольцевых схем. - Электротехника. Изд. Львовс. ун-та, 1983, № 8.
12. Конин В.В., Бутырина Л.А. Модели распределенных нагрузок СВЧ с поверхностным сопротивлением - Радиотехника, т. 36, 1981, №1.
13. Машковцев Б.М., Цибизов К.Н., Емельин Е.Ф. Теория волноводов. М.: Наука, 1966.

Валерий Викторович Конин

Анализ амплитудных и фазочастотных характеристик многоканальных делителей мощности СВЧ

Ответственный за выпуск	председатель секции
Научный редактор	В.Г.Абакумов, д-р техн. наук
Рецензенты	Б.М.Заикин, канд. техн. наук
	Н.Т.Бова, канд. техн. наук
	Ю.Г.Вуремов, канд. техн. наук
Заведующий редакцией	В.А.Линник
Редактор	И.Г.Илюхин
Корректор	Т.Н.Скороход

Подписано в печать 15.12.1981г. БФ 20054
Формат 60 x 84/16. Бумага типографская. Офсетная печать. Уч.-изд. л. I, 0
Тираж 299 экз. Заказ № 1842 . Цена 5 коп.

Общество "Знание" Украинской ССР, 252005, Киев-5, Красноармейская
57/3

РДЭНП, 252030, Киев-30, бульвар Тараса Шевченко, 16
