

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени акад. С.П.Королева

Кафедра радиотехники

ВОЛНОВОДНЫЕ НАПРАВЛЕННЫЕ ОТВЕТВИТЕЛИ

Методические указания к лабораторной работе № 64
по курсу "Конструкции СВЧ устройств и экранов"

Куйбышев, 1988

УДК 621.39

Методические указания предназначены для студентов, изучающих в рамках курса "Конструкции СВ: устройства и экраны" раздел "Волноводные направленные ответвители".

Указания содержат:

- методику расчета основных параметров ответвителей и их взаимосвязи с допусками на изготовление элементов конструкции.
- Описание экспериментальной установки и методику эксперимента.
- Требования к содержанию отчета.
- Контрольные вопросы для самоподготовки

Составители: Галдина Нина Михайловна
Вещьянова Регина Александровна

Подписано в печать 1.07.89. Формат 60x84 1/16.
Бумага белая. Печать офсетная. Усл.п.л. 1,4. Уч.-изд.л.1,3
Т.50 экз. Заказ № 30. Бесплатно.
Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт им. акад. С.П.Королева.
Г.Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.
Участок оперативной полиграфии, г. Куйбышев,
ул. Ульяновская, 18

1. Цель работы.

Целью работы является ознакомление с устройством, принципом действия и основными характеристиками направленных ответвителей (НО), изучение конструкций и технологии изготовления волноводных НО, а также методов расчета их параметров.

2. Принцип работы. Параметры НО

НО - устройство СВЧ, служащее для ответвления из основного тракта части мощности одной из двух бегущих волн: падающей или отраженной. НО используются в схемах контроля параметров сигналов (мощности, частоты и пр.), в схемах измерения параметров тракта (коэффициентов отражения, стоячей волны и др.), в схемах сложения и разделения сигналов, в схемах переключателей, фазовращателей и т.д. Схема НО приведена на рис. I.

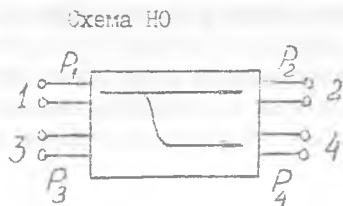


Рис. I

Параметры НО :

Переходное ослабление C - это выраженное в децибелах отношение мощности P_1 , поступающей на вход основного волновода, к мощности P_4 , ответвленной в рабочее плечо вспомогательного волновода:

$$C = 10 \lg P_1/P_4$$

НО с $C < 10$ дБ являются ответвителями с сильной связью, а с $C > 10$ дБ ответвителями со слабой связью.

Направленность - выраженное в децибелах отношение мощностей в рабочем плече вспомогательного волновода P_4 и в нерабочем плече этого же волновода P_3 :

$$D = 10 \lg P_4/P_3$$

Направленность характеризует качество направленной связи ответвителя.

НО может быть выполнен на базе ненаправленных элементов связи (двух, например, ответвителей 3×1 дБ) в таблице, где связь осуществляется

ся с помощью отверстий в общей узкой стенке волновода за счет касательной составляющей магнитного поля. Два таких отверстия, расположенные на расстоянии $l = \lambda_g / 4$ друг от друга, обеспечивают направленную связь. Направленность достигается за счет интерференции волн, возбуждаемых во вторичном волноводе.

Мощность $P_{\text{пад}}$ поступает в плечо I основного волновода. Каждое отверстие связи возбуждает во вспомогательном волноводе две волны, равные по амплитуде и противоположные по фазе, т.е. распространяющиеся в направлении плеч I и 3. В плечо 3 приходят волны от обоих отверстий с разностью фаз π , т.е. вычитаются, а в плече I фазовый сдвиг между обеими волнами равен нулю, т.е. волны в плече I складываются.

Для поглощения волн, частично интерферировавших (при работе НО в диапазоне частот), а также волн, возбуждаемых во вторичном волноводе волной, отраженной от нагрузки первичного волновода, в плече 3 НО устанавливается согласованная нагрузка.

Для расширения полосы частот, в которой сохраняются заданные значения направленности и переходного ослабления, применяют НО с многоэлементной связью. Расстояние между элементами связи необязательно должно быть равно четверти длины волны. Однако четвертьволновые расстояния обеспечивают максимальную направленность и широкополосность НО.

Наиболее распространенной конструкцией одноэлементного НО является ответвитель Бете рис. 2а и в таблице поз. №3,4,5. Электрическое поле основного волновода рис. 2б (электрическая связь) возбуждает во вспомогательном волноводе две равные по амплитуде синфазные волны, направленные в разные стороны. Магнитная связь рис. 2в возбуждает во вспомогательном волноводе также две волны, равные по амплитуде, но противофазные. Электромагнитные волны, возбуждаемые во вспомогательном волноводе электрической и магнитной связью, складываются в плече 4 в фазе, а в плече 3 в противофазе. Величина магнитной связи зависит от взаимного расположения волноводов (угла θ). Поворачивая волноводы друг относительно друга можно регулировать величину направленности.

Простейшей конструкцией НО является ответвитель со взаимно перпендикулярными волноводами (в табл. №4,5,6). В качестве элементов связи в таких НО используются как круглые так и крестообразные отверстия, расположенные на диагонали общей части широких стенок волноводов в области круговой поляризации поля волны H_{10} (см. №5,6 в

табл.).

На рис.3 приведена зависимость переходного ослабления одного отверстия от диаметра при различных соотношениях размера широкой стенки волновода к длине волны.

Конструкции НО приведены на чертежах: КуАМ ИИ.587.001СБ (НО на взаимно перпендикулярных волноводах) и на рис. 4 (сборка НО со связью по общей узкой стенке) и рис.5 (детализированный чертеж основного волновода).

Особенности техпроцесса изготовления.

В НО в основном волноводе участок стенки в области связи удаляется полностью для уменьшения толщины общей стенки. Сначала на оправке фрезерованием удаляется предельно толстый слой стенки. Оставшийся слой толщиной в несколько десятков микрометров удаляется на чулунном притире. Во вспомогательном волноводе толщина общей стенки уменьшается до 0,8 или 1 мм (см. чертежи) для обеспечения требуемой величины связи. Отверстия связи получают с помощью прецизионной электроискровой обработки.

3. Расчетная часть

Для трехлучевых НО с элементами связи, расположенными в общей узкой стенке волновода переходные ослабления каждого отверстия равны:

$$\begin{aligned} C_1 &= C_3 = C_0 + 20 \lg(4 - 2/\kappa^2), \\ C_2 &= C_0 + 20 \lg\left(\frac{2\kappa^2 - 1}{\kappa^2 - 1}\right), \end{aligned} \quad (I)$$

где C_0 - переходное ослабление ответвителя, κ - вспомогательный коэффициент, зависящий от диапазона рабочих частот:

$$\kappa = 1 / \cos\left(\pi \frac{\lambda_{вmax}}{\lambda_{вmax} + \lambda_{вmin}}\right),$$

$\lambda_{вmax}$, $\lambda_{вmin}$ - граничные длины рабочего диапазона волн в волноводе.

При фиксированных границах диапазона допуск на переходное ослабление

$$\delta C_0 = \frac{\Delta C_0}{C_0} = A_d \Delta d + A_t \Delta t,$$

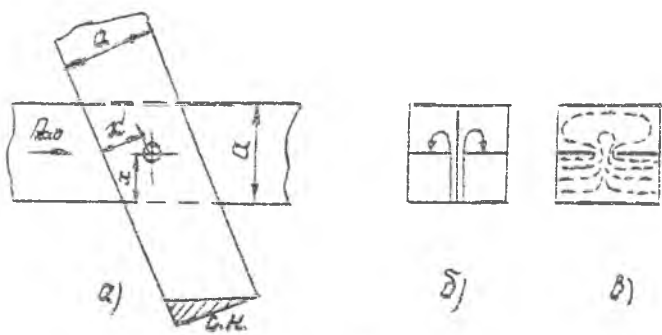


Рис. 2

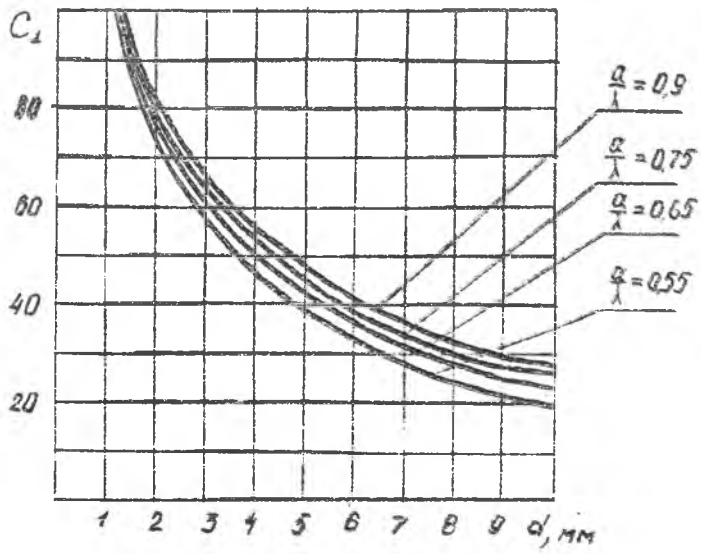
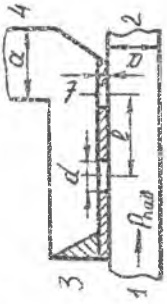
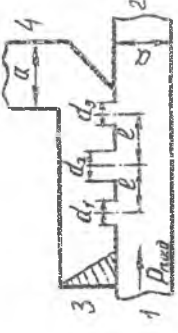
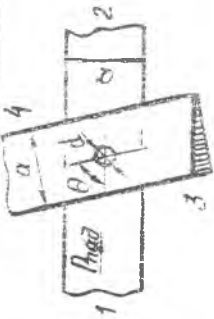
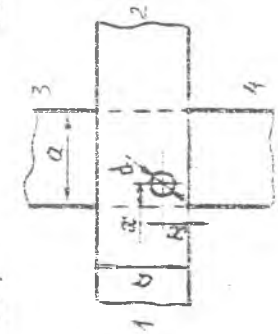
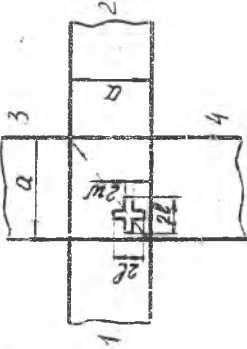
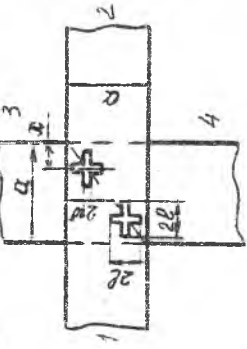
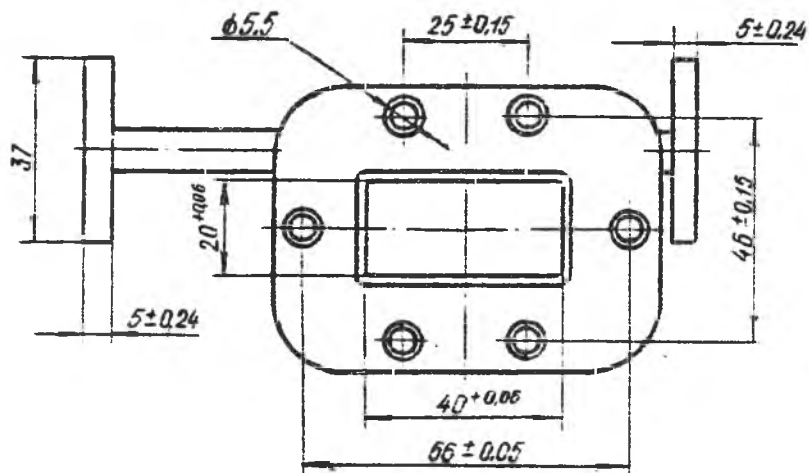
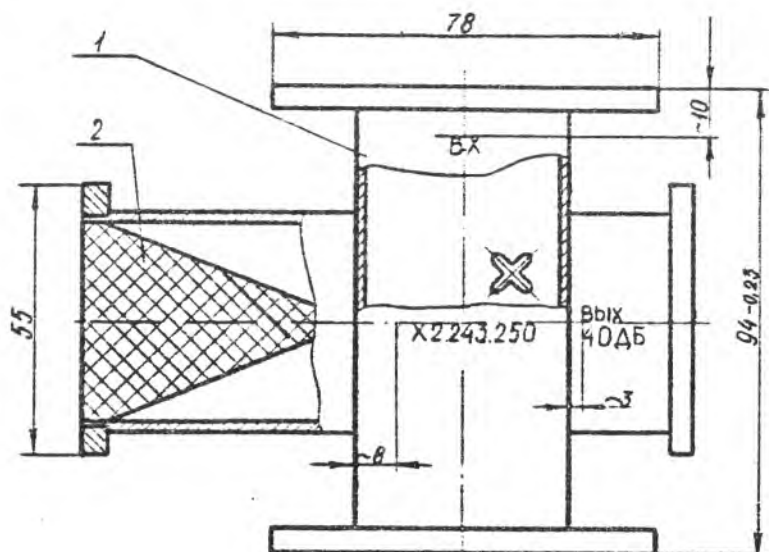


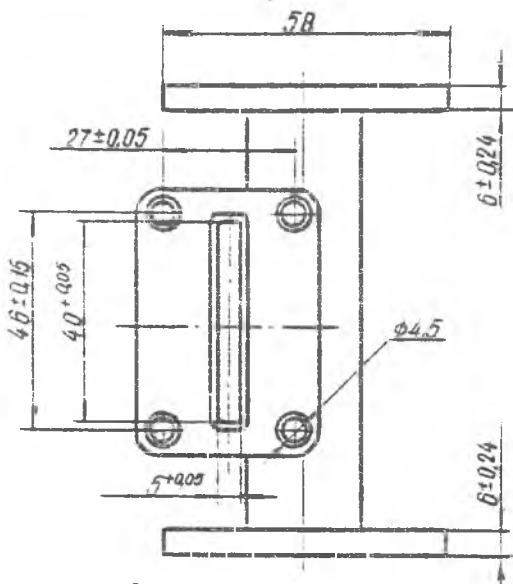
Рис. 3

№ п.п.	Тип ответвителя	Направленность, переходное ослабление	Диапазон примен.
1		$D = 20 \lg \frac{2}{g} \left[10 \frac{\%}{g} + \left(\frac{\pi \Delta \lambda_g}{\lambda_g} \right)^2 \right]^{1/2}$ $C = 20 \lg \frac{S \alpha^2 B}{g^2 \alpha^2 \lambda_g} + 32 \frac{l}{d} \sqrt{1 - (l/2a)^2}$ <p>$\Delta \lambda_g = \lambda_g - \lambda_{г0}$; $\lambda_{г0}$ — длина волны в волноводе на средней частоте диапазона.</p>	$\Delta \lambda_g = \pm 10\%$ $D \geq 16 \text{ dB}$ $C \geq 25 \text{ dB}$
2		$C = G - 20 \lg \left(4 - \frac{2}{g^2} \right)$ $C = C_2 - 20 \lg \left[\frac{(2g^2 - 1)}{g^2} \right] / (g^2 - 1)$ $C_m = 20 \lg \frac{12 \alpha^2 B}{\pi d^3 \lambda_g} + 32 \frac{l}{d} \sqrt{1 - (l/2a)^2}$ <p>$m=1,2,3$ — номер отверстия, C_m — переходное ослабление одного отверстия, $g = \frac{1}{\cos \left(\pi \frac{\lambda_{гmax}}{\lambda_{гmin} + \lambda_{гmax}} \right)}$</p>	

№№ п.п.	Тип ответителя	Направление, периодное освидение	Диапазон применения
3		$D = 20lg \left \frac{\cos \theta + \frac{1}{2} \left(\frac{a}{\lambda} \right)^2 \frac{F_m}{F_m}}{\cos \theta - \frac{1}{2} \left(\frac{a}{\lambda} \right)^2 \frac{F_e}{F_m}} \right ,$ $C = 20lg \frac{3ab\lambda_1}{2\pi d^2 \cos \theta} + \frac{32t}{d} \sqrt{1 - \left(\frac{1.77d}{\lambda} \right)^2},$ $F_e = \exp \left[- \frac{4\pi t}{2.52d} \sqrt{1 - \left(\frac{1.31d}{\lambda} \right)^2} \right],$ $F_m = \exp \left[- \frac{4\pi t}{3.41d} \sqrt{1 - \left(\frac{1.77d}{\lambda} \right)^2} \right]$	$\Delta \lambda = \pm 10\%$ $D \geq 20\text{дБ}$ $C > 20\text{дБ}$
4		$D = 10lg \left(1 + \frac{F_m^2}{F_e^2} \cdot \frac{4\lambda^4}{a^2 \rho^2} \cdot c \lg^2 \frac{\pi x}{a} \right),$ $C = 10lg \frac{36a^2 b^2}{\pi^2 d^6} + 10lg \left(\frac{F_m^2}{a^2} \sin^2 \frac{\pi x}{a} + \frac{1}{\lambda^2} \cdot \frac{1}{e} \sin^2 \frac{0.3x}{1.2} \right)$	$\Delta \lambda = \pm 12\%$ $D \geq 15\text{дБ}$ $C > 20\text{дБ}$

№ № п.п.	Тип ответителя	Направленность, переходное ослабление	Диапазон применения
5		$D = 20 \lg \frac{F_m}{3 a \tau \epsilon_0} \left(\frac{\rho}{w} \right)^2 \frac{\lambda^2}{\lambda_0} \frac{c \rho \frac{2\pi x}{a}}{\rho_0 \frac{4 \rho}{w} - 1}$ $C = 20 \lg \frac{3 a^2 b (\rho_0 \frac{4 \rho}{w} - 1)}{\rho^2 \rho^3 F_m \sin \frac{2 \pi x}{a}}$ $F_m = \exp \left[- \frac{\pi L}{2 \rho} \sqrt{1 - \left(\frac{4 \rho}{\lambda} \right)^2} \right]$ $F_e = \exp \left[- \frac{2 \pi L}{\lambda \rho} \sqrt{1 - \left(\frac{4 \rho}{\lambda} \right)^2} \right], \lambda_{кр} = \frac{4 \rho w}{\sqrt{\rho^2 + w^2}}$	$\Delta \lambda_e = \pm 15\%$ $D \geq 20 \text{ дБ}$ $c > 20 \text{ дБ}$
6		$C = 20 \lg \frac{1 + \left(\frac{4 \rho - 1,002 w}{\lambda} \right)^2 \frac{w^2 (A-1)}{\lambda_0}}{2 F_m A \sin \frac{2 \pi (a-2L)}{\lambda_0}}$ $A = \frac{\pi^2 (2L)^3 \sin \frac{2 \pi x}{a}}{24 a^2 \rho \epsilon_0 \left(\frac{4 \rho}{w} - 1 \right)}$ $D = 20 \lg \left(\frac{1}{\cos \frac{2 \pi L}{\lambda_0}} \right)$ $\chi = \frac{a}{\pi} \arcsin \left(\lambda / (\sqrt{2} a) \right) - \text{сониэр.}$ $\chi = \frac{a}{\pi} \arcsin \left(\lambda / (\sqrt{2} a) \right) - \text{пропагациял}$	





1. Размеры для справок.

2. Деталь поз. 2 клеить клеем Д-9 по ОСТ4 ГО.029.004.

Допускается неклеить на длине 30-40мм от острого конца.

3. Надписи маркировать эмалью ЭП-572 черная ТУ6-10-1534-76 Ж, шрифтом 3 по ИО.010.007.

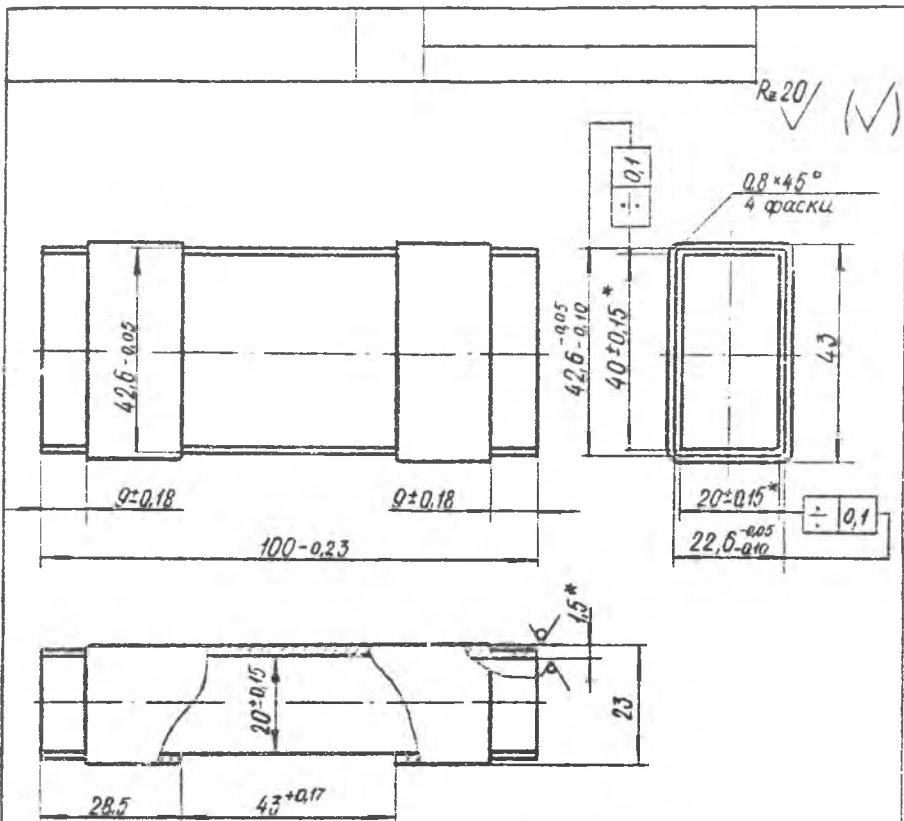
4. Требования к электрическим параметрам по ГХ2.243.250 ТУ/с.

5. Общие технические требования по ОСТ4.ГО.070.015.

КчАН. 112.587.001.СБ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лист	Масштаб	Листов
Разраб.					Ц	1:1	
Провер.					Лист		Листов
Т.контр.							
И.контр.							
Утв.							

Ответственно
направленный
сборочный чертмен



* Размеры для справок

Кч АИ. 081.157.007.

Изм. вкл. № докум. Издательство
Разреш. Подпись

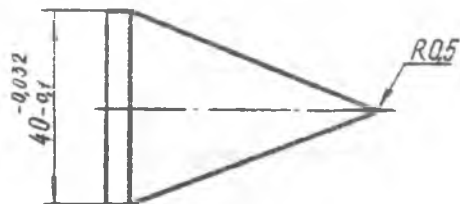
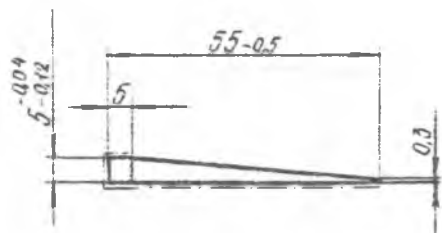
Труба

Лист 1 из 1

Лист 1 из 1

Труба А96 40,0×20,0×1,5
ТУ48-21-195-72

Rz 20 ✓ (M)



Нанести влагозащитное покрытие ТТП-1 по НОКО.054.011, кроме мест, обозначенных - - - - -

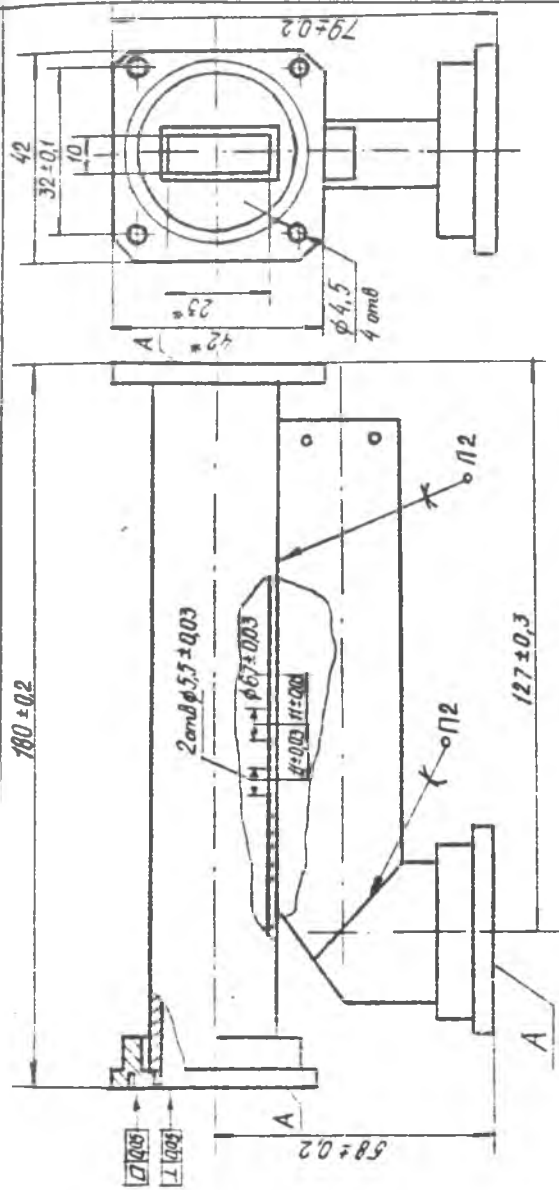
КуАН. 073. 225. 002.

Изм./лист № докум.	Подпись	Дата
Разреш.		
Провер.		
Т.контр.		
Н.контр.		
Ств.		

Полотнитель

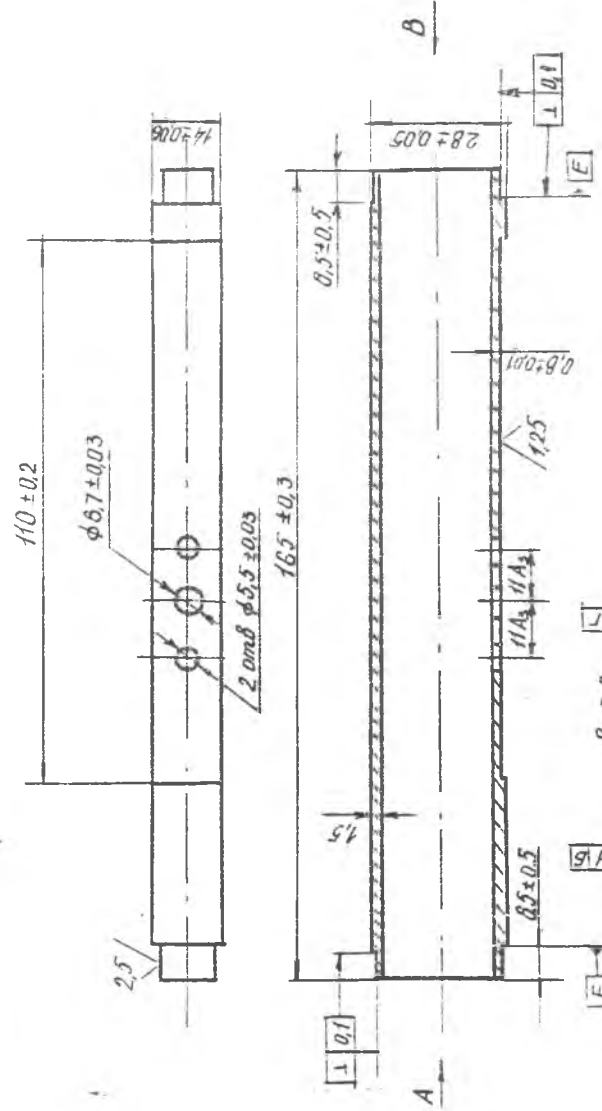
Лист	Масса	Масшт.
Ц		1:1
Лист		Листов 1

Положающийся материал
СКБ-90 ГХД.005.022 ТУ



- * Размеры для справок
1. Паста Сил0 ГОСТ 1521-68 по периметру
 2. Места пайки зашпаклевать
 3. Покрытые Хим. Окс. фтор
 4. Покрытые наружной поверхностью эмалью ЭП-140 серия ТУ6-10-599-74 III Ж1, кроме поверхностей А

Рис. 4



1. Размер 6,5 фрезеровать в сборе с фланцем до размера 4 отклонительно E

Рис 5

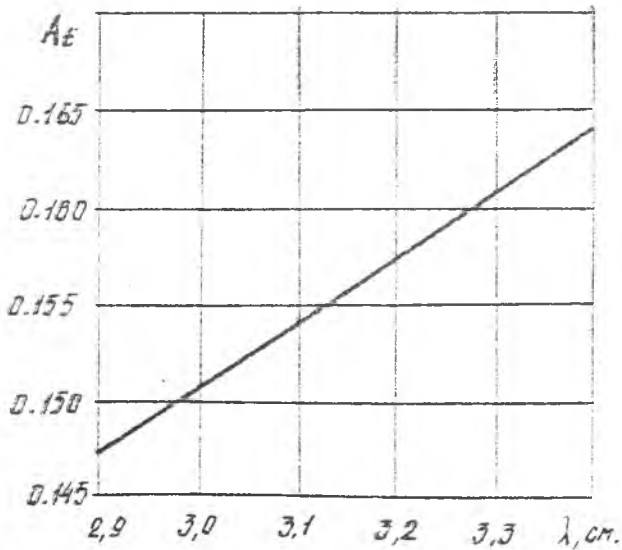
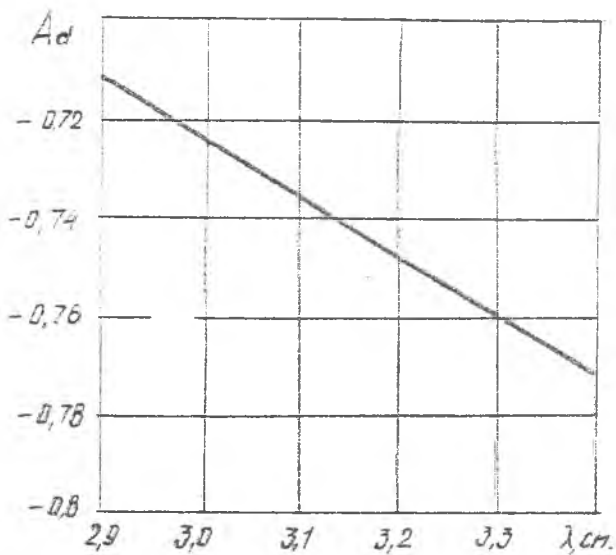


Fig. 6

откуда

$$\Delta C_0 = C_0 \cdot \delta C_0, \text{ дБ} \quad (3)$$

где $\Delta d, \Delta t$ - допуски на диаметр отверстия и толщину общей стенки, A_d, A_t - коэффициенты влияния диаметра отверстия и толщины стенки, определяемые путем дифференцирования зависимости переходного ослабления по d или t

$$A_d = \frac{q_0}{C_0} \cdot \frac{\partial C_0}{\partial q}$$

где $q = d$ или t соответственно.

Зависимости A_d и A_t от длины волны для трехлучевого НО показаны на рис. 6. Зная допуски на диаметр отверстия Δd и толщину стенки Δt , можно для НО вычислить по формуле (2) относительную величину допуска на переходное ослабление, а по (3) - абсолютное его значение в дБ.

4. Экспериментальная часть

4.1. Описание экспериментальной установки

Схема установки приведена на рис. 7. Установка работает в сантиметровом диапазоне волн. Для измерения КСВ и длины волны в тракт включена измерительная линия. Развязка между генератором и нагрузкой обеспечивается включением вентиля. Сигнал с выхода НО (плечо 4) детектируется с помощью детекторной секции.

Схема экспериментальной установки

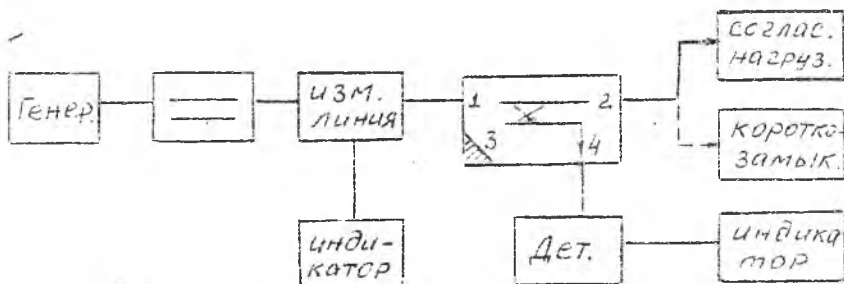


Рис. 7

4.2. Порядок выполнения домашнего задания

4.2.1. Изучить материал соответствующих лекций, а также стр. [1], [2], [3].

4.2.2. По заданному диапазону длин волн в табл. I в соответствии с номером бригады определить длины волн в волноводе $\lambda_{\text{сmin}}$ и $\lambda_{\text{сmax}}$ по формуле:

$$\lambda_{\text{с}} = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}, \quad (4)$$

где $a = 23$ мм, размер широкой стенки волновода.

Таблица I

№ Бригады	1	2	3	4
см	2.9... 3.1	3 ... 3,2	3.1 ... 3.3	3.2 ... 3.4

4.2.3. Для НО рис. 4 рассчитать теоретическое значение переходного ослабления C_0 , пользуясь формулами (1) и графиками рис.3 при номинальных значениях диаметров отверстий.

4.2.4. По формулам (2) и (3) рассчитать теоретическое значение допустимых отклонений переходного ослабления в диапазоне длин волн (см. табл. I) при значениях допусков на d и t , указанных в чертеже рис.5.

4.2.5. Для исследуемых в эксперименте четырех НО, основные размеры которых приведены в табл.2, рассчитать по формулам (2) и (3) наибольшие отклонения переходного ослабления $\Delta C_{0\text{отнх}}$ (по максимальному значению допуска).

4.2.6. Вычислить ожидаемое значение дисперсии переходного ослабления для исследуемых ответвителей табл.2, пользуясь выражением:

$$(\Delta C_0)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\Delta C_{0i} - \Delta C_{0\text{ср}}]^2, \quad (5)$$

где $\Delta C_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta C_0$, n - число ответвлений ($n=4$).

Результаты вычислений записать в табл. 3.

Таблица 2

№ отв.	d_1 , мм	d_2 , мм	d_3 , мм	$\frac{1}{L}$, мм
1	5,53	6,78	5,48	0,81
2	5,50	6,74	5,57	0,81
3	5,58	6,72	5,44	0,80
4	5,45	6,72	5,50	0,79

Таблица 3

$N = \bar{\sigma}_p$	$\lambda_{\text{мин}}$, мм	$\lambda_{\text{в макс}}$, мм	C_0 теор	ΔC_0 теор	$(\Delta C_0)^2$ ожидаем	по результатам эксперимента	
						$C_{\text{эксп}}$	$(\Delta C_0)^2$

4.3. Порядок выполнения эксперимента

4.3.1. С помощью измерительной линии измерить длину волны в волноводе $\lambda_{\text{в}}$. Измерение проводить при коротком замыкании линии. По измеренному значению $\lambda_{\text{в}}$ определить рабочую длину волны λ из формулы (4).

Полученные значения сравнить с заданными.

4.3.2. Измерить КСВ НО по схеме рис.7. Плечо 2 НО нагрузить на согласованную нагрузку. Перемещая зонд измерительной, измерить минимальное $\alpha_{\text{мин}}$ и максимальное $\alpha_{\text{макс}}$ показания индикатора.

$$КСВ = \sqrt{\alpha_{\text{макс}} / \alpha_{\text{мин}}}$$

4.3.3. Измерить переходное ослабление НО МІ. Для этого сигнал с детекторной секции подать на вход индикатора. С помощью аттенуа-

тора установить стрелку индикатора в средней части шкалы. Записать показание аттенкатора L_1 . Затем исключить из схемы НО, присоединить детекторную секцию к выходу измерительной линии и с помощью аттенкатора установить стрелку индикатора в прежнее положение. Записать новое показание аттенкатора L_2 . Переходное ослабление

$$C_{c1} = L_2 - L_1, \text{ дБ}$$

Аналогично измерить переходное ослабление остальных НО C_2, C_3, C_4 . Результаты записать в табл.4.

Таблица 4

№ отв.	L_1 , дБ	L_2 , дБ	C_0	показание индикатора α
1				
2				
3				
4				

4.3.4. Измерить направленность НО ~ 1 . Для этого в схеме рис7 поменять местами плечи НО 1 и 2 и повторить измерение ослабления, как в п. 4.3.3. Получившее значение ослабления при этом будет

$$C'_{c1} = L'_2 - L_1$$

Тогда направленность

$$D_1 = C'_{c1} - C_{c1}$$

Результаты записать в табл.5.

4.3.5. Исследовать влияние нагрузки основного волновода. Для этого к плечу 1 НО вместо согласованной нагрузки присоединить короткозамыкающую заглушку. Повторить измерения п.4.3.4:

$$C''_{c1} = L''_2 - L_1$$

$$D''_1 = C''_{c1} - C_{c1}$$

Результаты записать в табл.5.

α (показ.) (н.д.)	L_2'	L_2	C_{01}'	D_1	L_2''	C_{01}''	D_1''

4.3.6. Измерить переходное ослабление и направленность ответвителя Ветс.

4.3.7. Рассчитать экспериментальное значение средней величины переходного ослабления $C_{ср}$ по формуле

$$C_{ср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{0i}$$

n - число исследуемых НО.

Результат записать в табл.3.

4.3.8. Рассчитать экспериментальное значение дисперсии переходного ослабления по измеренным величинам C_{0i} по формуле :

$$(\Delta C_0)^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [C_{0i} - C_{ср}]^2$$

Результат записать в табл.3.

Сравнить полученное значение $(\Delta C_0)^2$ с ожидаемым, рассчитанным в п.4.2.6. Сделать вывод.

5. Содержание отчета

- Наименование и цель работы
- Схема экспериментальной установки
- Формулы и результаты вычислений и измерений в виде таблиц.
- Выводы о проделанной работе.

6. Контрольные вопросы для самоподготовки

- Что такое переходное ослабление НО? От чего оно зависит?

Как измеряется переходное ослабление ?

2. Что такое направленность НО и от чего она зависит ?

Как измерить направленность НО ?

3. Каково назначение и типы НО ?

4. Расскажите конструкции и принцип действия двухдырочного НО со связью по узкой стенке.

5. Как изготавливается двухдырочный НО со связью по узкой стенке ?

6. Расскажите конструкции и принцип действия ответвителя Бете?

7. Из каких соображений определяются допуски на изготовление деталей НО ?

8. Чем определяется дисперсия переходного ослабления ?

9. Как изготавливается ответвитель Бете ?

10. В чем заключается технологический процесс вскрытия участка стенки волновода ?

11. Как получают отверстия связи в стенке волновода ?

12. Какие требования предъявляются к материалам, применяемым в НО ? Какие материалы, применяемые в НО Вы знаете ?

13. Каково влияние коррозии токонесущих поверхностей на параметры НО ?

14. Как повысить устойчивость токонесущих поверхностей НО к коррозии ?

Л и т е р а т у р а

1. Конструкции СВЧ устройств и экранов. - Под ред. А.М.Чернушенко. - М.: Радио и связь, 1983, стр. 133-138.

2. Булкинский И.П. Изготовление элементов конструкций СВЧ. - М.: Высшая школа, 1974, стр.144-188.

3. Фомин А.В., Борисов В.Ф., Чермошенский В.В. Допуски в РСА. - М.: Советское радио, 1973, стр. 79-85.