



**Кафедра Сверхвысокочастотной
и Квантовой Радиотехники**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

**ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

по дисциплинам
“Микроволновые приборы и устройства”, “Электронные СВЧ и кванто-
вые приборы” “Основы СВЧ электроники”
для специальности 210105 (200300) – «Электронные приборы и устройства»,
210100 -«Электроника и микроэлектроника»,
210302 – «Радиотехника»

2011

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

КАФЕДРА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ И КВАНТОВОЙ РАДИОТЕХНИКИ (СВЧ_иКР)

УТВЕРЖДАЮ
заведующий кафедрой

_____ С. Н. Шарангович

ОПИСАНИЕ АППАРАТУРЫ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

по курсам **«Антенны и устройства СВЧ»** для специальностей :
210302- *«Радиотехника»*; 210402 - *«Средства связи с подвижными объектами»*; 210405 - *«Радиосвязь, радиовещание и телевидение»*;
210303 – *«Бытовая радиоэлектронная аппаратура»*;
«Микроволновые приборы и устройства», спец. 210105 - *«Электронные приборы и устройства»*;
«Основы СВЧ электроники», спец. 210100 - *«Электроника и микроэлектроника»*;
«Теория ЭМП», 210401– *Физика и техника оптической связи*; 210302- *«Радиотехника»*; 210312 – *«Аудиовизуальная техника»*

Составила
доц. Каф СВЧ_иКР
_____ Ж.М. Соколова

СОДЕРЖАНИЕ

1. Измерительные линии

- 1.1. Измерительная коаксиальная линия типа РІ-3 ,
аналогичное устройство линии типа Р1-173
- 1.2. Измерительная волноводная линия типа 33-И.....5
- 1.3. Измерительная волноводная линия типа РІ-4,
аналогично устроена линия Р1-27.....8

2. Генераторы СВЧ

- 2.1. Генератор стандартных сигналов типа Г4-9.....11
- 2.2. Генератор сигналов типа Г3-14А.....15
- 2.3. Генератор стандартных сигналов типа 43И.....19
- 2.4. Генератор сигналов Г4-156.....23

3. Элементы волноводного тракта

- 3.1. Волноводная детекторная секция.....28
- 3.2. Двойной волноводный тройник (Э8-1).....30
- 3.3. Трансформатор полных сопротивлений.....31
- 3.4. Атенюатор.....32
- 3.5. Эквивалент антенны.....34
- 3.6. Направленный ответвитель.....35
- 3.7. Ферритовый циркулятор37

ОБОЗНАЧЕНИЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ СВЧ.....40

1.Измерительные линии

1.1. Измерительная коаксиальная линия типа PI-3 , аналогичное устройство линии типа P1-17

Измерительная коаксиальная линия типа PI-3 предназначена для измерения коэффициентов стоячей волны и полных сопротивлений в коаксиальных передающих линиях.

1.1.1. Основные технические данные

- 1) Диапазон рабочих частот: от 2500 до 10350 МГц.
- 2) Характер входных сигналов: незатухающие и импульсно-модулированные.
- 3) Волновое сопротивление линии 50 Ом.
- 4) Погрешность определения коэффициентов стоячей волны напряжения (КСВН) от 1.06 до 2 с учетом ошибки индикаторного прибора класса 1 не более 10%.
- 5) Линия оканчивается гнездными соединителями для коаксиальных линий с размерами внутреннего диаметра внешнего проводника и внешнего диаметр внутреннего проводника $10 * 4.34$ мм.

1.1.2. Принцип действия и конструкции линии

Основной частью прибора является (рис. 1) отрезок коаксиальной линии, внутренним проводником которой служит металлический стержень (2), а внешний проводник образован двумя металлическими пластинами (1), параллельными

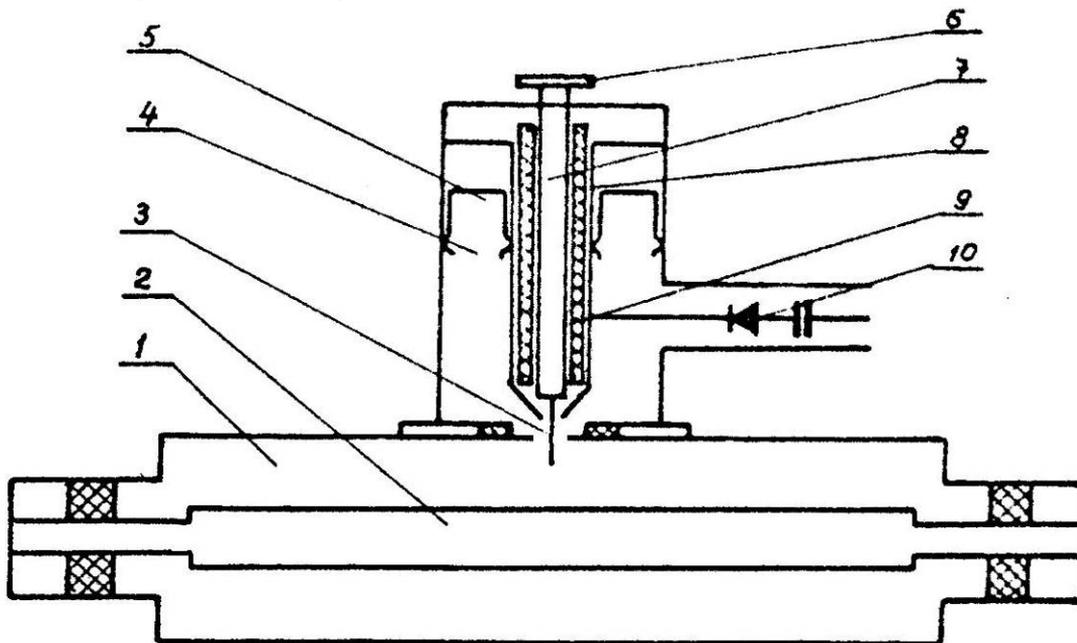


Рис. 1. Схема устройства измерительной линии типа PI-3

В линию вводится небольшой зонд-антенна (3), связанный с настраиваемым коаксиальным резонатором детектора (4). Для настройки резонатора служит поршень (5).

Измерительная головка состоит из двух коаксиальных линий (два резонатора), образованными тремя concentрическими трубками.

Внутренняя трубка (7) является продолжением зонда. Вместе со средней трубкой (8) она образует коаксиальный резонатор или контур зонда. Этот контур настраивается подвижным диэлектрическим плунжером (9), перемещение которого приводит к изменению электрической длины линии. Для перемещения служат два выступа, скользящие в продольных щелях, прорезанных в наружной трубке головки. Внутренняя и внешняя коаксиальные линии соединены последовательно. Эквивалентная схема головки показана на рис.2.

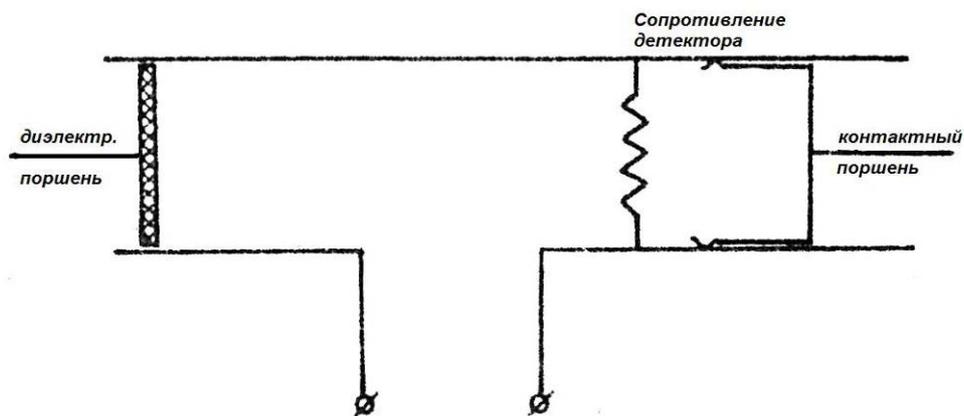


Рис. 2. Эквивалентная схема головки измерительной линии

Изменением положений диэлектрического и контактного поршней головки можно получить оптимальную настройку измерительной линии, при которой мощность, выделяемая на детекторе, будет максимальна.

Гайкой, расположенной на верхней части головки (6), изменяют глубину погружения зонда в линию в пределах 10 мм, что позволяет регулировать величину мощности, ответвляемой в резонатор детектора (4).

1.1.3. Подготовка прибора к работе

- 1) Присоединить к линии испытуемую согласованную нагрузку или короткозамыкающую пластинку.
- 2) Присоединить к линии измерительный прибор и включить генератор.
- 3) Установить измерительную головку в положение пучности и настроить в резонанс с колебаниями генератора.
- 4) Добиться с помощью настроечных элементов головки (поршень 5 и поршень 9, рис.1) максимального отклонения стрелки индикаторного прибора цепи детектора.

1.1.4. Работа с прибором

- 1) Определить положение условного конца l_{yc} в линии. Для этого задается рабочая частота генератора. Свободный конец линии закоротить. Расстояние в линии, соответствующее минимуму показания поля, будет условным концом l_{yc} . Минимумов может быть несколько. Зафиксировать следует один из них.
- 2) Снятие фазовой характеристики нагрузки, подключенной к концу линии, в диапазоне частот производится путем определения расстояния l от условного конца линии l_{yc} до первого минимума напряжения в направлении к генератору.
- 3) Замерить показания микроамперметра в минимуме и максимуме напряжения в линии:

$$\alpha_{\min}; \quad \alpha_{\max}$$

- 4) Вычислить коэффициент стоячей волны по формуле:

$$K_{CB} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}}}$$

1.2. Измерительная волноводная линия типа 33-И.

1.2.1. Принцип действия

Измерительная волноводная линия служит для измерения коэффициента бегущей волны, длины волны и полных сопротивлений волноводных линий в диапазоне частот 8100-12800 МГц. Точность измерения K_{OB} составляет $\pm 5\%$ в пределах от 0.1 до 1. Принципиальная схема измерительной линии 33-И представлена на рис.3.

Измерительная линия состоит из основного прямоугольного волновода (8) и вспомогательного прямоугольного волновода, состоящего из волновода детектора (1) и волновода зонда (5); вспомогательный волновод укреплен на каретке. В состав измерительной линии входят ручка (10) перемещения волновода детектора, ручка (9) перемещения поршня детекторной секции, зонд (6), детектор (4), коаксиальная линия (3), измерительный прибор (2).

Основной волновод имеет посередине широкой стенки узкую продольную щель, вдоль которой при помощи штурвала перемещается каретка со вспомогательным волноводом. Положение каретки относительно основного волновода можно измерять линейкой и нониусом. Линейка имеет 80 делений через 1 мм и крепится с помощью кронштейна к каретке. Точность отсчета по нониусу составляет ± 0.05 мм.

Основной и вспомогательный волноводы связаны зондом, глубина которого в основной волновод регулируется устройством, расположенным под свинчиваемым колпачком (6).

Детектор предназначен для детектирования колебаний, введенных зондом во вспомогательный волновод.

Для настройки вспомогательного волновода служат ручки (7) и (9). С помощью ручки (7) производят компенсацию реактивного сопротивления, которое зонд вносит в основной волновод. Ручкой (9) добиваются получения максимального поля у детектора.

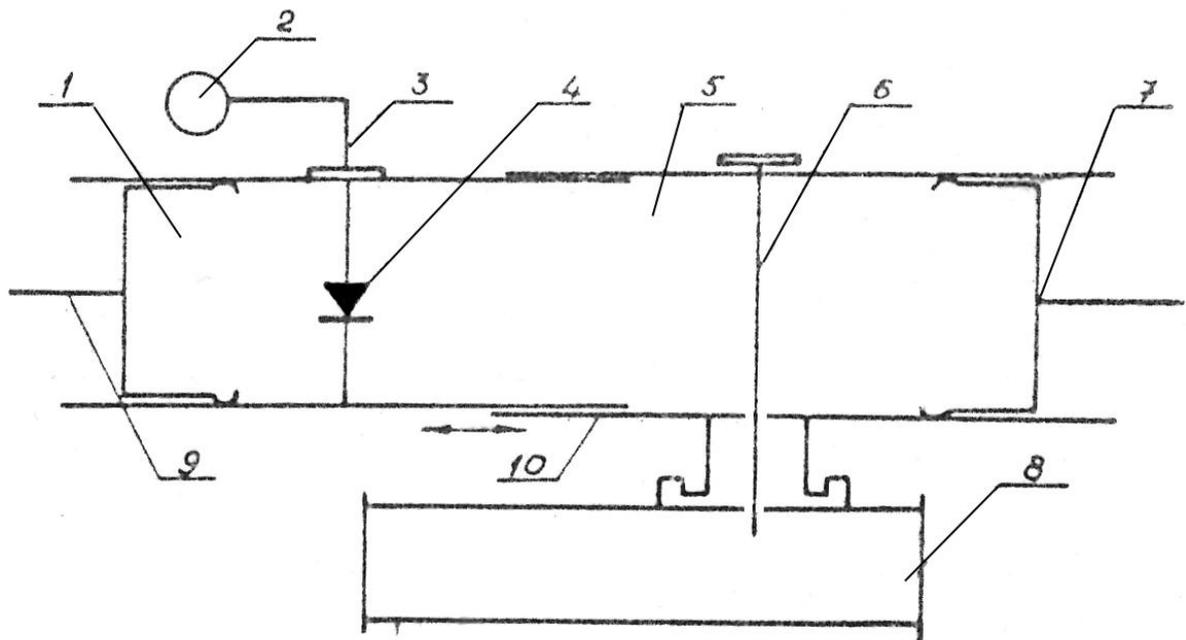


Рис. 3. Схема устройства волноводной линия типа 33-И.

Принцип работы измерительной линии заключается в следующем. Основной волновод включается в разрыв испытуемой волноводной линии. Через щель на его широкой стенке введен зонд. Во избежание нарушений распределения поля в волноводе зондом последний погружают на глубину порядка 5-10 % от высоты волновода.

Энергия с помощью зонда сначала передается в волновод зонда (5), а затем поступает в волновод (1) и подводится к детектору. Выпрямленные колебания с детектора по коаксиальной линии поступают к измерительному прибору.

ЭДС, наводимая в зонде, пропорциональна амплитуде электрического поля в основном волноводе в месте расположения зонда. В свою очередь, амплитуда колебаний, возникающих во вспомогательном волноводе, пропорциональна ЭДС, наводимой в зонде. Следовательно, с помощью зонда можно установить распределение поля вдоль волновода, определяемое величиной и характером волноводной нагрузки.

1.2.2. Подготовка измерительной линии к работе

- 1) Установить с помощью ручки регулирования высоты основной волновод прибора на необходимую высоту.
- 2) Присоединить к одному концу основного волновода измерительной линии через развязывающий аттенюатор (с затуханием порядка 5-10 дБ) генератор, а к другому – испытываемую волноводную линию или нагрузку.
- 3) Подключить коаксиальный кабель измерительного прибора к детекторной головке измерительной линии. При работе с линией в качестве индикаторного прибора может быть использован любой микроамперметр с малым внутренним сопротивлением. При включении зеркального индикаторного прибора необходимо проверить соответствие положения переключателя прибора напряжению сети. При работе генератора в импульсно-модулированном режиме индикаторным прибором может служить усилитель У2-4 (28-ИМ).
- 4) Включить генератор сантиметрового диапазона, пользуясь соответствующей инструкцией.
- 5) Установить зонд в пучности поля линии перемещением каретки и, вращая ручку перемещения волновода детектора, получить максимальные показания прибора.
- 6) Регулируя с помощью ручки (9) перемещение поршня детекторной секции, добиться увеличения показаний измерительного прибора. Повторять операции п.5 и 6 необходимо до тех пор, пока последующее вращение ручек (7) и (9) не будет увеличивать показаний индикатора.
- 7) Ввести развязывающим аттенюатором (находится в генераторе) такое затухание, чтобы показания измерительного прибора находились в пределах шкалы. Характеристика детектора квадратична.

1.3. Измерительная волноводная линия типа Р1-4, аналогично устроена линия Р1-27.

Измерительная линия предназначена для измерения коэффициента стоячей волны ($K_{св}$) и полных сопротивлений элементов волноводных узлов.

Основные технические данные

- 1) Диапазон частот измерительной линии сечением 23 * 10 мм 8350-12000 МГц.
- 2) Погрешность измерения коэффициента стоячей волны не более $\pm 5\%$.
- 3) Характер входных сигналов: незатухающие и импульсно-модулированные.
- 4) Измерительная линия обеспечивает надежную индикацию с микроамперметром постоянного тока М-95, а при работе с импульсно-модулированными колебаниями для индикации следует пользоваться измерительным усилителем типа У2-4 (28-ИМ).

5) Габариты прибора 280 * 270 * 140 мм.

1.3.1. Схема и принцип действия измерительной линии

Схема измерительной линии приведена на рис.4. Измерительная линия представляет собой отрезок волновода (1), имеющий продольную узкую щель посередине широкой стенки волновода. Через щель во внутреннюю полость волновода проходит тонкий металлический зонд (2), укрепленный на каретке, которая перемещается вдоль линии. Зонд связан с настраиваемым (4) измерительным резонатором (3), в который включен кристаллический детектор (9).

Наведенная в зонде ЭДС, пропорциональная напряженности поля в месте расположения зонда, после выпрямления детектором индуцируется измерительным прибором. Перемещение зонда (измерительной головки) вдоль щели позволяет определить положение максимумов и минимумов

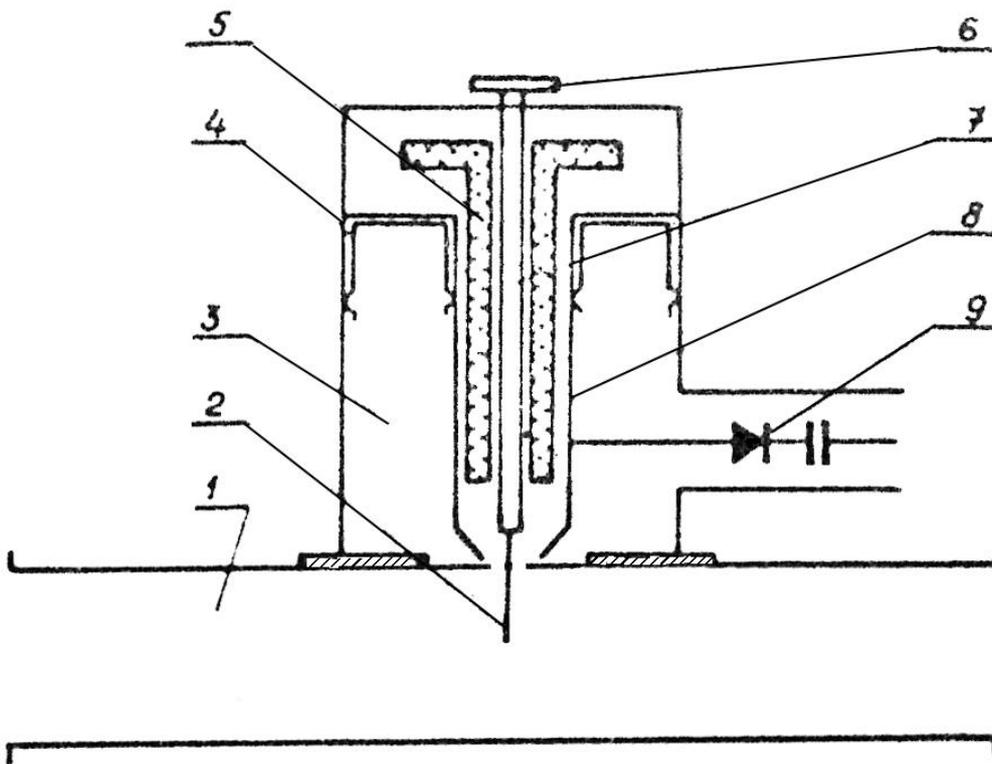


Рис.4. Схема устройства измерительной волноводной линии типа PI-4.

напряжения в линии и их относительные величины.

Продолжением зонда является стержень (7), который с трубкой (8) образует внутреннюю коаксиальную линию, являющуюся контуром зонда.

Глубина погружения зонда может изменяться гайкой (6). Меняя глубину погружения зонда, изменяют степень связи измерительной головки с линией. Контур зонда настраивается поршнем (5) с емкостным контактом, перемещение которого вдоль контура изменяет длину контура зонда. Поршень (5) по-

звоняет ввести реактивное сопротивление для компенсации рассогласованного между зондом и детектором (9) и тем самым настроить измерительную головку в резонанс. Контур детектора и контур зонда (внутренняя и внешняя коаксиальная линии) соединены последовательно (рис.5). Отрезок ac соответствует внешней коаксиальной линии, а отрезок dl – внутренней коаксиальной линии. Изменение длин l_1 и l_2 позволяет получить в точках cd сопротивление с любой реактивной составляющей, в том числе и сопротивление, равное сопротивлению зонда, но с противоположным знаком.

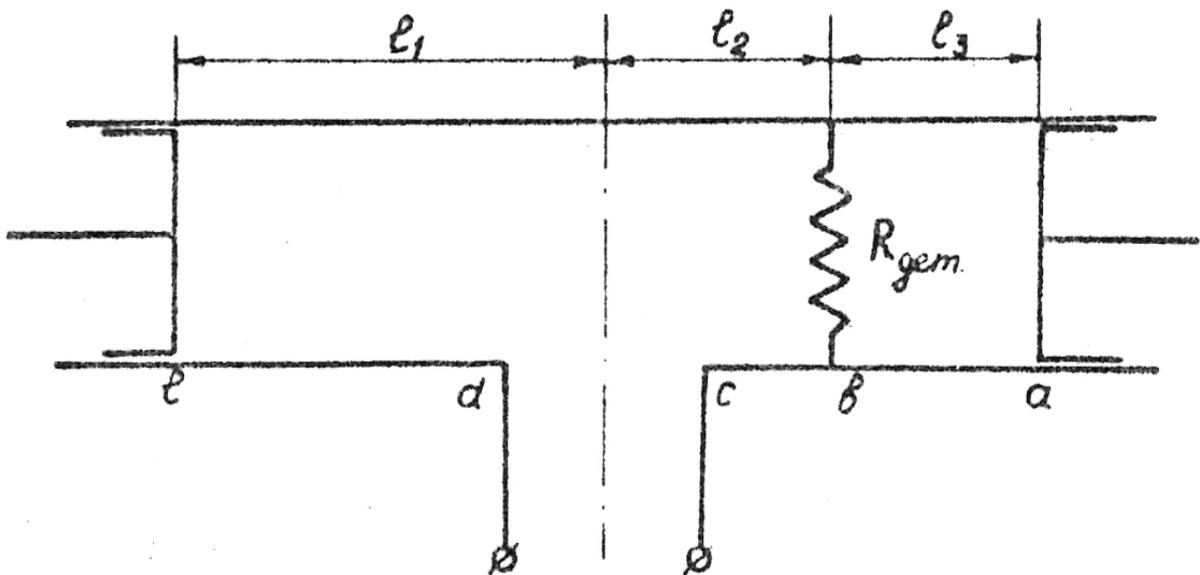


Рис.5. Эквивалентная схема зонда линии типа PI-4.

1.3.2. Работа с прибором

- 1) К одному фланцу измерительной линии подсоединить генератор. К другому – испытываемую волноводную нагрузку.
- 2) Перед началом работы линию необходимо настроить. Для этого следует установить глубину погружения зонда в волновод винтом (6). Выбор глубины погружения зонда зависит от мощности колебаний в тракте (используемый генератор имеет малую мощность на выходе), от чувствительности индикаторного прибора и детектора. Затем настраивают детекторный контур измерительной головки, для чего перемещают поршень детекторного контура до получения максимума показания индикатора. Может случайно оказаться, что зонд находится в минимуме стоячей волны, вследствие чего невозможно обнаружить какой-либо сигнал. В таком случае смещают измерительную головку и настраивают ее до получения резонанса. Затем при необходимости глубину зонда увеличивают или уменьшают до получения требуемой чувствительности.
- 3) Коэффициент стоячей волны определяется по формуле:

$$K_{CB} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \sqrt{\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_{\min}}},$$

где $\alpha_{\max}, \alpha_{\min}$ - показания индикаторного прибора, стоящего в цепи детектора измерительной линии, в пучности и в узле стоячей волны (при перемещении измерительной головки вдоль линии).

При $K_{CB} \geq 10$ для определения K_{CB} можно пользоваться формулой

$$K_{CB} = \frac{\lambda_g}{\pi \Delta l},$$

при этом ошибка не превышает 5%. λ_g - длина волны в волноводе, Δl - расстояние между двумя положениями зонда по обе стороны от минимума, в которых мощность колебаний в два раза больше мощности в минимуме (рис.6), т.е. $\Delta l = |l_1 - l_2|$.

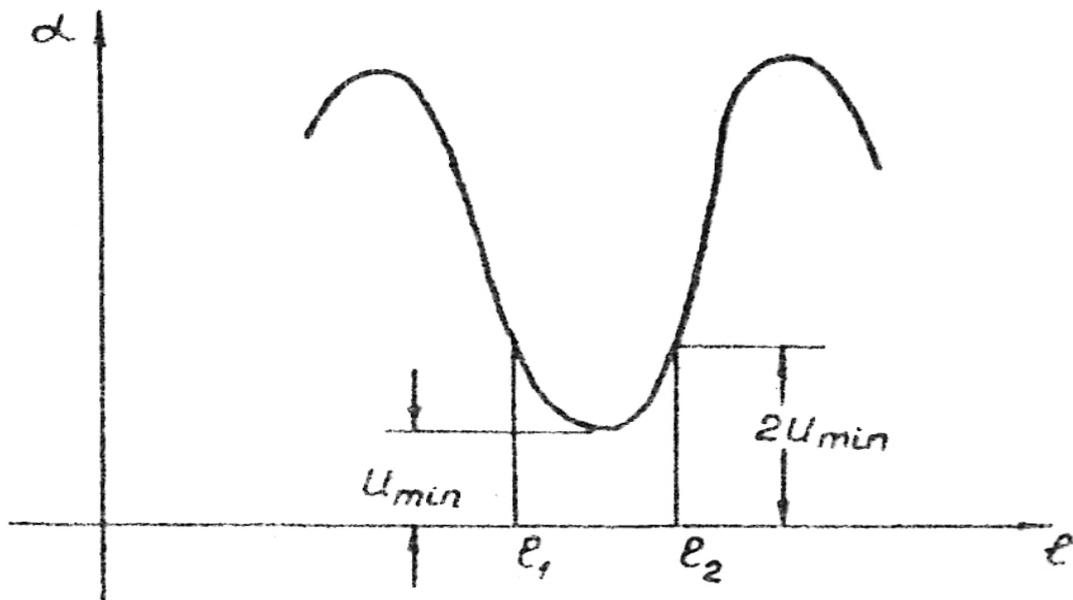


Рис. 6. Показания индикаторного прибора, стоящего в цепи детектора измерительной линии, при перемещении головки зонда вдоль линии.

- 4) Измерение длины волны в волноводе (λ_g) проводится следующим способом. Закорачивается линия заглушкой. Определяется расстояние между двумя ближайшими минимумами стоячей волны (λ_{cm}). Длина бегущей волны в волноводе $\lambda_g = 2 \lambda_{cm}$.
- 5) Для определения полного сопротивления нагрузки Z_H ($Z_H = R_H \pm jX_H$) необходимо определить условный конец измерительной линии. Для этого измерительная линия закорачивается на конце заглушкой. Затем измерительную головку перемещают от выходного конца линии по направлению к генератору до первого минимума – узла напряжения. Эта

точка и будет условным концом линии. При изменении частоты каждый раз определяется условный конец вышеуказанным способом.

- 6) Подключается исследуемая нагрузка к выходному концу.
- 7) Перемещением зонда определяется расстояние L от определенного выше условного конца линии до первого минимума в сторону генератора при нагрузке.
- 8) Полное сопротивление нагрузки вычисляется

$$\frac{Z_H}{Z_C} = \frac{K_{CB} - \gamma(K^2 - 1)\sin\theta \cdot \cos\theta}{K^2 \cos^2\theta + \sin^2\theta},$$

где Z_C - волновое сопротивление волновода

$$Z_C = 120 \pi \frac{\lambda_g}{\lambda}, \quad \theta = \frac{2\pi}{\lambda_g} L$$

- 9) Коэффициент отражения нагрузки определяется по формуле

$$\Gamma = |\Gamma| e^{j\psi},$$

где $|\Gamma| = \frac{K_{CB} - 1}{K_{CB} + 1}$, $\psi = \theta - \pi$.

2. Генераторы СВЧ

2.1. Генератор стандартных сигналов типа Г4-9

Генератор типа Г4-9 предназначен для питания высокочастотной энергией измерительных линий, антенн и других радиотехнических схем.

2.1.1. Основные технические данные прибора

- 1) Диапазон частот 2000-3800 МГц
- 2) Основная погрешность прибора по частоте не более 1.2%.
- 3) В приборе имеется внутренний волномер. Основная погрешность определения частоты по внутреннему волномеру $\pm 0.2\%$.
- 4) Прибор имеет два высокочастотных выхода:
 - а) Милливаттный выход – не менее 30 мВт на сопротивление внешней нагрузки 50 Ом.
 - б) Микроваттный выход, калиброванный по мощности, от 100 мкВт до 10^{-8} мкВт при нагрузке 50 Ом.
- 5) Режим работы:
 - А) непрерывная генерация (НГ);
 - Б) внутренняя частотная модуляция (внутр.Ч.М.) с частотой следования пилю от 100 до 4000 Гц;
 - В) внешняя импульсная модуляция (внеш. \square) импульсами положительной полярности с частотой следования импульсов от 100 до 1000 Гц, длительностью от 1 до 20 мкс и амплитудой от 45 до 100 В.

Г) внутренняя импульсная модуляция (внутр. \square) с внутренней и внешней синхронизацией при частоте следования импульсов от 100-4000 Гц \pm 20% и длительностью выходных высокочастотных импульсов от 0.6 до 10 мкс с точностью отсчета в пределах $1 \cdot 10$ мкс с учетом графика задержки вч импульса по сравнению с модулирующим;

Д) внутренняя модуляция с прямоугольными импульсами с отношением полупериодов 1: 1 и частотой 1000 Гц \pm 5%.

6) Питание приборов производится от сети переменного тока частоты 50 ± 0.5 Гц при напряжении $220 \text{ В} \pm 10\%$.

7) Потребляемая прибором мощность не более 300 Вт при номинальном напряжении сети.

2.1.2. Блок-схема генератора

Прибор состоит из следующих частей – блоков (рис.7): генератора СВЧ (клизотрон К-12), узла съема выходной мощности, индикатора уровня выходной

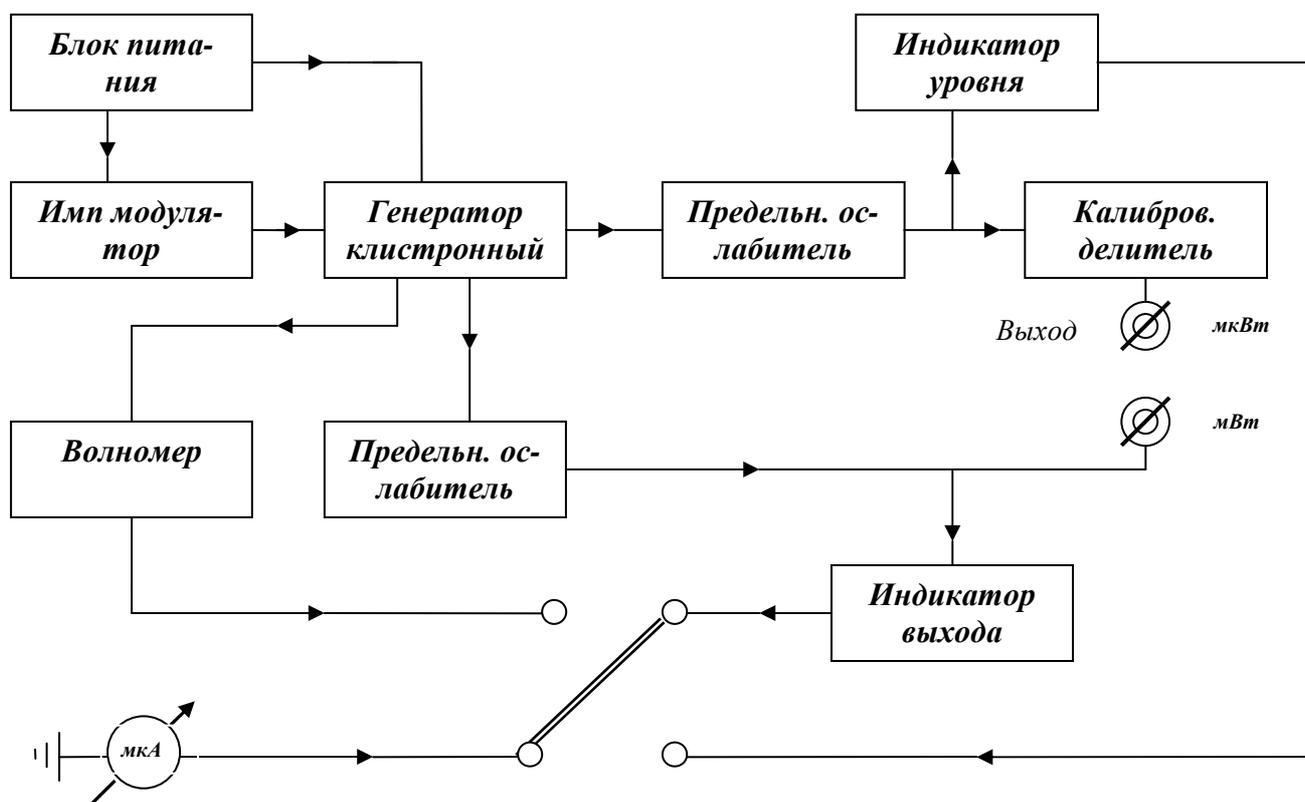


Рис.7. Блок – схема генератора типа Г4-9

мощности, волномера, импульсно-модуляционного блока, блока питания. Генератор СВЧ является основным узлом прибора, создающим колебания, и имеет два выхода СВЧ мощности:

А) калиброванный – с плавной регулировкой в пределах от 100 мкВт до 10^{-8} мкВт;

Б) некалиброванный – с уровнем выходной мощности не менее 30 мВт.

Узел съема выходной мощности обеспечивает выдачу калиброванной СВЧ мощности и позволяет плавно регулировать мощность на милливатном выходе (предельным ослабителем).

Индикатор уровня обеспечивает установку необходимого начального уровня ВЧ мощности на входе калиброванного аттенюатора и позволяет производить относительную оценку уровня выходной мощности на милливатном выходе. Волномер обеспечивает точную установку частоты генератора. Импульсно-модуляционный блок обеспечивает частотную и импульсную модуляцию.

Блок питания обеспечивает все элементы схемы необходимыми напряжениями.

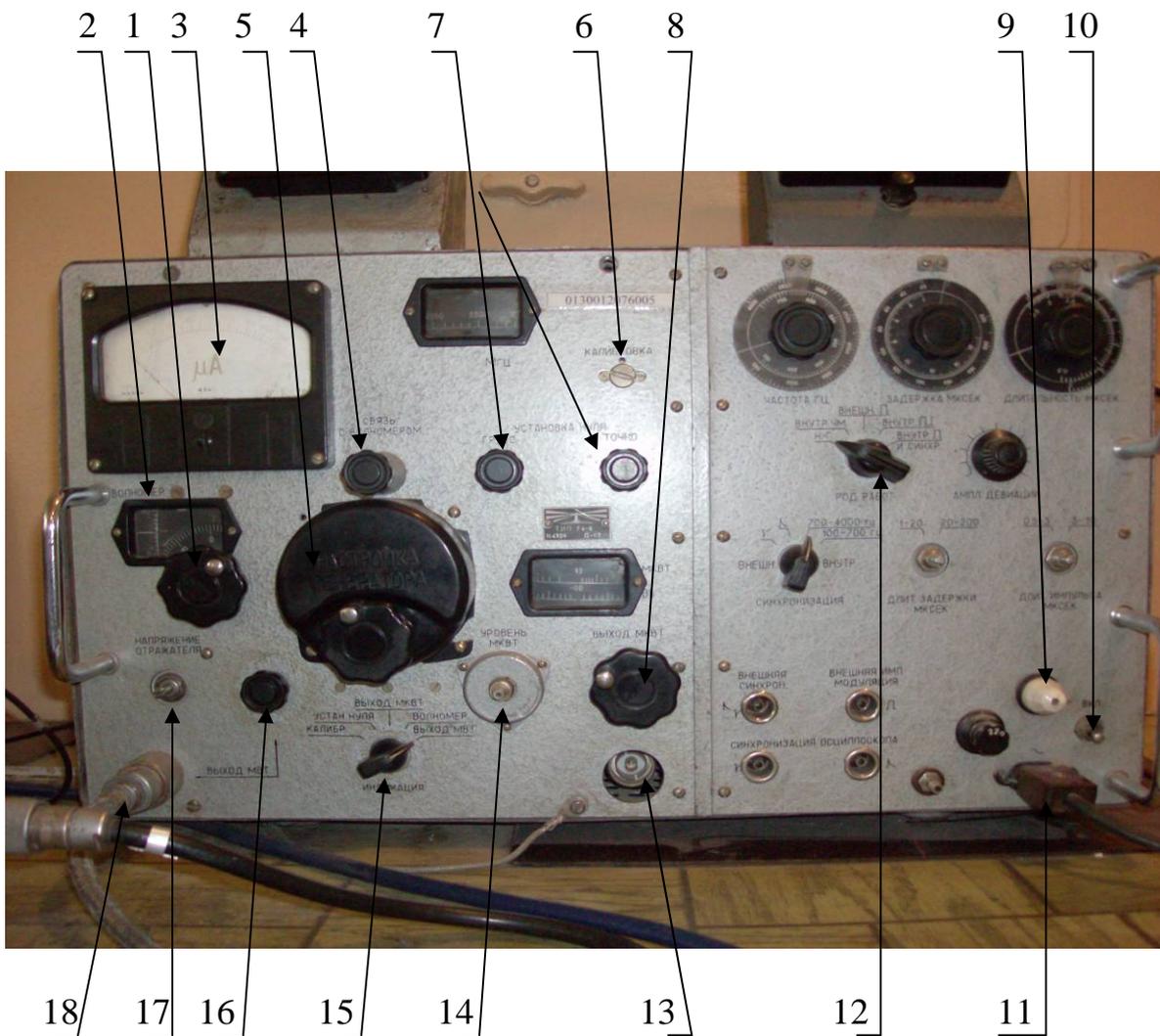


Рис.8. Передняя панель прибора типа Г4- 9

На передней панели прибора (рис.8) расположены: стрелочный измерительный прибор 3, волномер 2, ручка настройки волномера 1, ручка регулировки «связь волномера» 4, ручка 5 установки частоты «настройка генератора», ось под шлицы калибровки термисторного моста «калибровка» 6, ручка 7 установки нуля: «грубо», «точно»; шкала микроваттного аттенюатора « μW », связанная с ручкой

«выход» 8, ручка 14 установки уровня мощности на выходе микроваттного аттенюатора – «уровень» μW , индикатор волномера 2, гнездо микроваттного выхода 13, ручка 17 точной подстройки напряжения на отражателе «напряжение отражателя», ручка 16 регулировки мощности милливаттного выхода и гнездо милливаттного выхода прибора «выход mW » с заглушкой 18, переключатель «индикация» 15, имеющий 5 положений: «калибр», «устан. нуля», «выход μW », «волномер», «выход mW », переключатель 12 «род работ», имеющий 5 положений: непрерывная генерация «НГ», внутренняя частотная модуляция «внутр.ЧМ», внешняя импульсная модуляция, внутренняя модуляция меандром, внутренняя имп. Модуляция с внешней и внутренней синхронизацией, индикаторная лампочка 9, тумблер питания прибора «вкл.» 10, колодка 11 для подключения кабеля питания «сеть».

2.1.3. Подготовка прибора к работе

- 1) Включить кабель питания в сеть.
- 2) Переключатель «индикация» 15 поставить в положение волномер.
- 3) Поставить ручки 14, 16 в положение минимальной связи (влево до упора), т.е. нагрузку с генератора снять.
- 4) Подключить нагрузку к гнезду «выход mW » 18.
- 5) Поставить тумблер сети 10 в положение «вкл.». Прибор следует прогреть не менее 10-15 минут.
- 6) Произвести установку нуля стрелочного измерителя термисторного моста.
- 7) При этом переключатель «индикация» 15 должен последовательно находиться в положениях «установка нуля» и «калибровка».
- 8) В лабораторной работе генератор используется только в режиме непрерывной генерации.

2.1.4. Работа прибора с милливаттным выходом в режиме непрерывной генерации

- 1) Поставить переключатель «род работы» 12 в положение «НГ»
- 2) После установки нуля и калибровки мостовой схемы включить генератор высокой частоты, установив переключатель «индикация» 15 в положение «выход mW ».
- 3) Установить ручкой 5 «настройка генератора» требуемую частоту по шкале.
- 4) Поставить ручку 28 «напряжение отражателя» в среднее положение. Затем ручкой 16 «выход mW » установить необходимый уровень сигнала по шкале стрелочного измерителя.

2.1.5. Работа с волномером генератора Г4-9

- 1) Нормальная работа волномера гарантируется в режиме непрерывной генерации.

- 2) Ручку 4 «связь волномера» установить в среднее положение, при этом следует иметь в виду, что крайнее левое положение ручки 4 соответствует слабой связи волномера с трактом высокой частоты, а крайнее правое – сильной связи.
- 3) Переключатель 15 установить в положение «волномер».
- 4) Вращением ручки 1 настройки волномера добиться максимального отклонения прибора 3. Если показания прибора 3 зашкаливают, ослабить связь волномера. Сняв показания по шкале 2 (рис.8), определяют по градуировочной таблице волномера частоту генератора.

2.2. Генератор сигналов типа ГЗ-14А

Генератор сигналов типа ГЗ-14А (ГС-624М) является источником высокочастотных колебаний, калиброванных по частоте и уровню, и предназначен для различных радиотехнических измерений в лабораторных условиях.

2.2.1. Основные технические данные

- 1) Диапазон частот 7500 – 1400 МГц.
- 2) Погрешность установки частоты $\pm 0.2\%$.
- 3) Уровень выходной калиброванной мощности не менее 5 мВт.
- 4) Погрешность установки начального уровня на микроваттном выходе ± 2 дБ.
- 5) Погрешность градуировки каждого аттенюатора до 6 дБ ± 0.4 дБ; до 30 дБ ± 1 дБ.
- 6) Режим работы:
 - а. Непрерывная генерация;
 - б. Модуляция внутренняя и внешняя.Внутренняя – симметричными прямоугольными импульсами с частотой следования 1000 Гц $\pm 10\%$.
Внешняя – импульсами с частотой следования 200-10000 Гц и длительностью не менее 2 мкс положительной полярности и амплитудой 40 В.
Рекомендуемый источник модулирующих импульсов – прибор типа Г5-8 (МГИ-1).
- 7) Выход волноводный, сечением 28.5 * 12.6 мм.
- 8) Напряжение питающей сети: 127, 220 вольт, частотой 50 Гц и 115 В, частотой 400 Гц.
- 9) Мощность, потребляемая прибором от сети, не более 200 Вт.

2.2.2. Блок-схема прибора

Прибор содержит следующие основные узлы: генератор высокой частоты, выходное устройство, манипулятор и блок питания.

На рис.9 представлена передняя панель генератора типа ГЗ-14А.

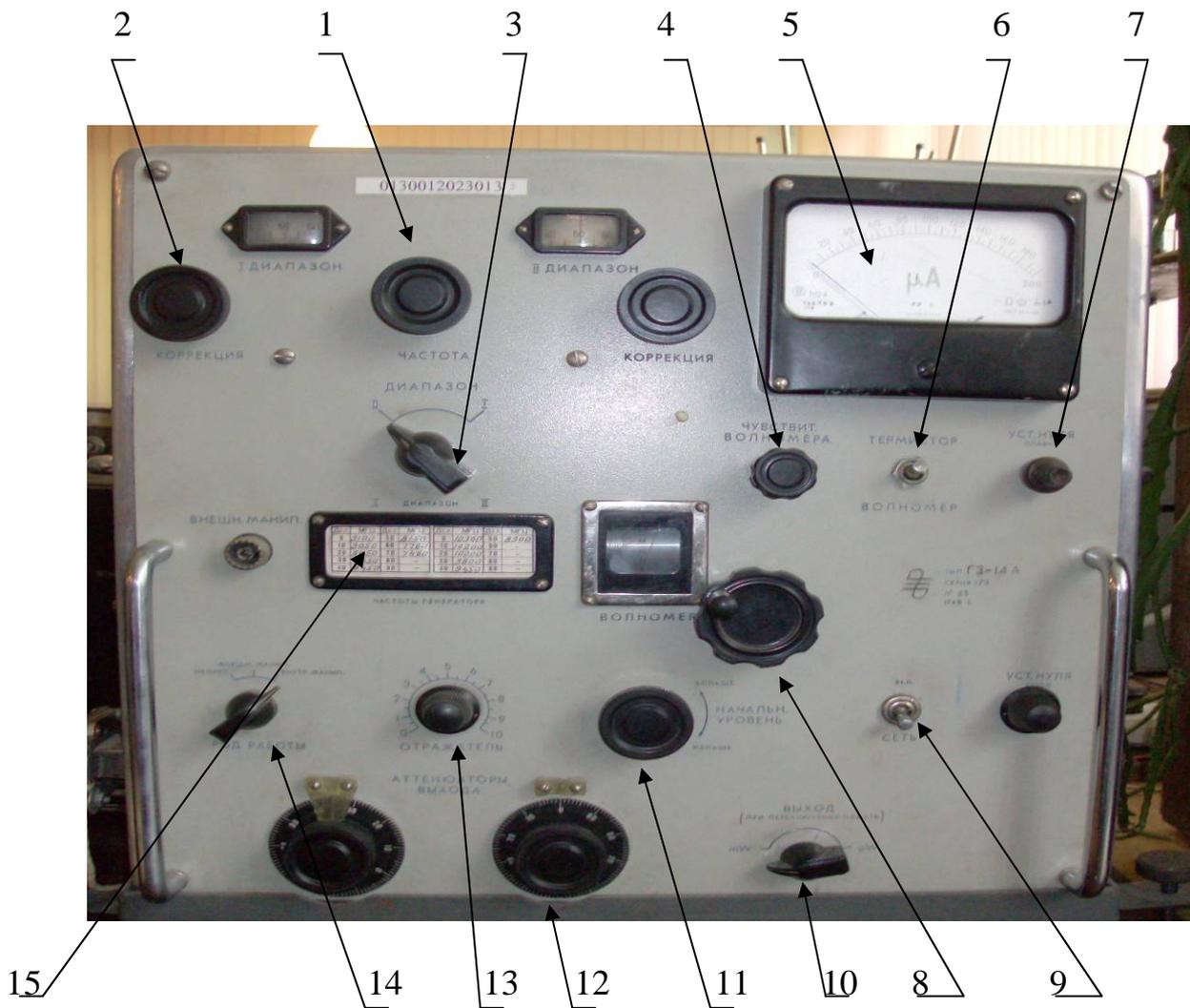


Рис.9. Передняя панель генератора типа ГЗ-14А

Генератор высокой частоты собран на клистронах К30 и К29. Оба клистрона работают одновременно. Выходное устройство подключается к волноводному тракту нужного клистрона с помощью волноводного переключателя (3), изолирующего одновременно тракт второго клистрона. Не подключенный у волноводному тракту клистрон механически не настраивается.

Требуемое напряжение на отражателе клистрона устанавливается автоматически при перестройке частоты.

Структурная схема прибора дана на рис.10.

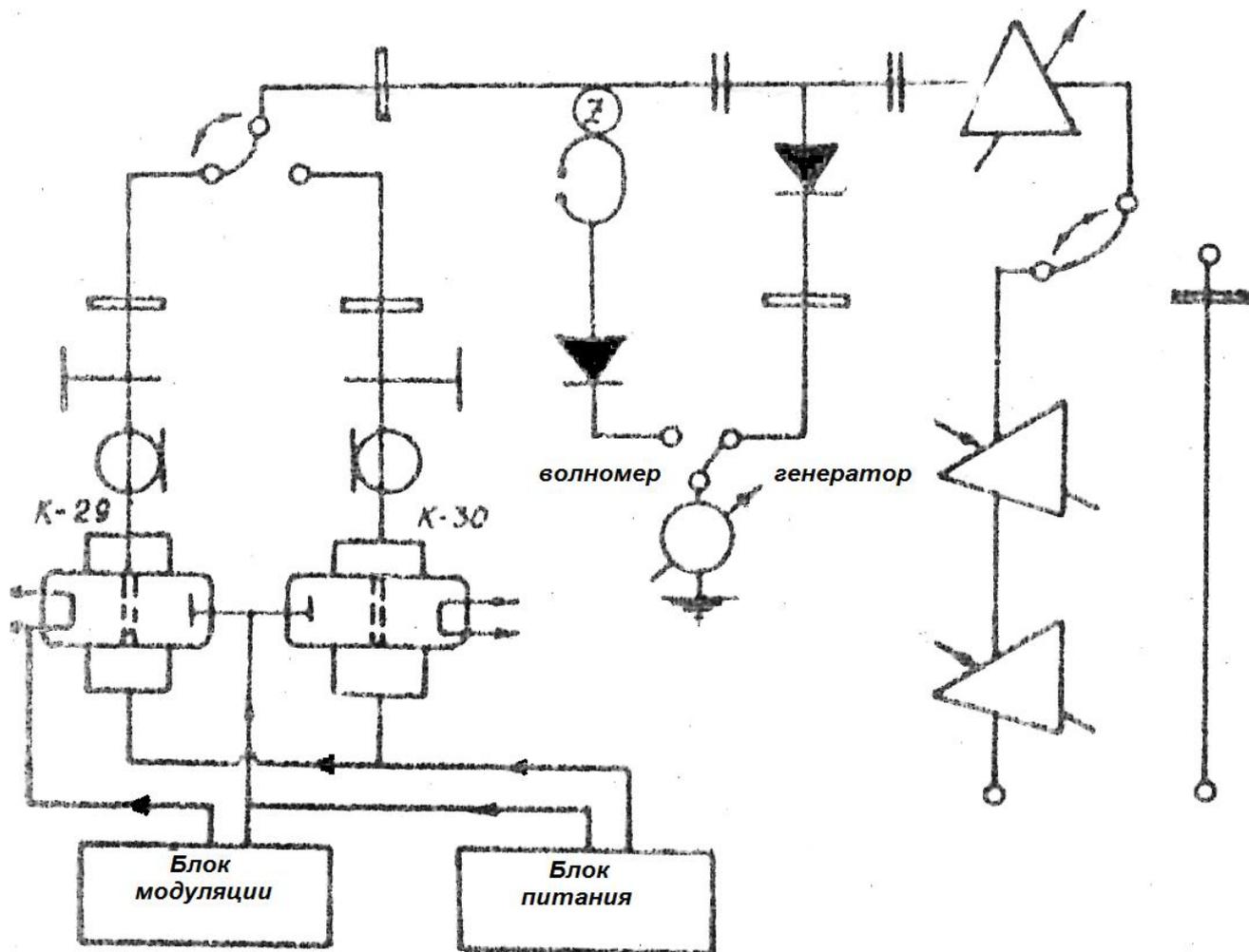


Рис. 10. Структурная схема прибора ГЗ-14А.

Подстройка напряжения на отражателе для достижения уровня максимальной мощности в зоне генерации производится ручкой на передней панели с надписью «отражатель» (13). (рис.9)

Максимум высокочастотной мощности на выходе прибора устанавливается ручками «коррекция» (2), перемещающими короткозамыкающие поршни в волноводе генератора.

Перестройка частоты генерируемых колебаний осуществляется перемещением стержня настройки клистрона при вращении ручки «частота» (1).

Выходное устройство генератора ГЗ-14А состоит из волномера, аттенюатора установки начального уровня, индикатора начального уровня и двух калиброванных аттенюаторов. Волномер представляет собой цилиндрический резонатор, в котором возбуждается колебание типа H_{111} .

Связь резонатора с волноводом осуществляется щелью, расположенной в торцевой стенке резонатора и в широкой стенке волновода.

Резонансная частота резонатора волномера изменяется поршнем.

Индикатором резонанса волномера служит детектор, нагруженный на микроамперметр (5). Регулировка чувствительности индикатора (5) в режиме «волномер» осуществляется ручкой (4). Отсчет частоты производится по шкале и лимбу волномера (8) в виде числа, а затем с помощью графика определяется частота.

Все аттенюаторы, имеющиеся в выходном устройстве, ножевого типа.

Покрытая проводящим слоем пластина имеет остrokонечную форму для меньшего отражения от ее концов. Поверхностное сопротивление проводящего слоя 110 Ом/см^2 . Для влагостойкости пластины покрываются лаком СБ1С.

Пластина погружается в волновод через прорезь в широкой стенке последнего.

Затухание калиброванных аттенюаторов выхода определяется отсчетом по их шкалам и графикам.

Для индикации и контроля уровня мощности на входе калиброванных аттенюаторов в приборе имеется волноводный делитель с индикатором мощности.

Мощность, поступающая на вход волноводного делителя, делится в отношении 1:4 между индикаторным плечом двигателя и входным плечом, в котором имеются два калиброванных аттенюатора (12) и аттенюатор на два фиксированных положения (10), обеспечивающий милливаттный и микроваттный выходы прибора.

Аттенюатор (10) имеет два фиксированных положения. В положении «мВт» пластина аттенюатора полностью выведена из волновода, в положении «мкВт» пластина введена соответственно затуханию 16 дБ. Затухание в тракте, идущем к термисторной головке, составляет 13 дБ.

Измеритель уровня мощности состоит из сбалансированного моста с питанием на постоянном токе. В одно из плеч моста включен термистор. Индикатором разбаланса моста служит микроамперметр (5), включенный в диагональ моста.

Работа измерителя уровня мощности основана на свойстве термистора изменять свое сопротивление при поглощении мощности. О величине мощности, подводимой к термистору, судят по отклонению стрелки микроамперметра. Термистор типа ТВ-2-250А помещается в термисторной головке типа М5-26, укрепленной на волноводе индикаторного плеча делителя.

2.2.3. Подготовка прибора к работе

- 1) Проверить положение колодки переключателя сети и установить ее в нужное положение.
- 2) Присоединить шланг питания к прибору, включить его в сеть питания.
- 3) Поставить переключатель (9) сети питания генератора в положение «вкл»; при этом должна загореться лампочка, освещающая шкалу волномера.
- 4) Переключатель «род работы» (14) поставить в положение «непрер.» и прогреть прибор. (для лабораторных измерений достаточно 0.25 часа).

2.2.4. Работа с прибором

Прибор может работать в следующих режимах: непрерывных колебаний, внутренней и внешней манипуляций. Первоначальная настройка генератора производится в режиме непрерывных колебаний. Для этого необходимо:

- 1) Установить ручками «аттенюаторы выхода» (12) необходимый уровень выходного сигнала;
 - 2) Установить ориентировочно требуемую частоту, воспользовавшись таблицей «частота клистронов» и шкалой «частота» (15);
 - 3) Установить переключатель «термистор - волномер» (6) в положение «термистор»;
 - 4) Повернуть ручку аттенюатора начального уровня вправо до отказа;
 - 5) Установить ручкой «уст. нуля точно» стрелку индикатора на нуль. Повернуть влево ручку «начальный уровень» (11). Добиться получения максимальной мощности ручками «отражатель» и «коррекция»;
 - 6) Поставить переключатель «термистор - волномер» в положение «волномер»;
 - 7) Установить с помощью графика волномер на деление, соответствующее необходимой частоте;
 - 8) Подстроить ручками «частота», «отражатель» и «коррекция» частоту генератора под частоту волномера. Перестройкой волномера проверить правильность настройки генератора;
 - 9) Для получения некалиброванной мощности ручку (10) установить в положение «мВт». Графиком частотного хода не пользоваться. Аттенюаторы выхода (12) вывести до нуля, нужный уровень мощности установить аттенюатором начального уровня (11). При работе с усилителями 28-ИМ и У2-4 после выполнения операций в режиме непрерывных колебаний генератор необходимо перевести в режим внутренней манипуляции. Работа в режиме внутренней манипуляции обеспечивается путем установки переключателя «род работы» в положение «внутр. манип.»
- При переходе с режима непрерывных колебаний к режиму внутренней манипуляции необходимо с помощью ручки «коррекция» подстроить частоту.

2.3. Генератор стандартных сигналов типа 43И

Генератор типа 43И является лабораторным прибором и предназначен для измерительных установок.

2.3.1. Основные технические данные прибора

- 1) Диапазон частот 8600-9600 МГц.
- 2) Стабильность частоты $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ МГц в течении 30 мин.
- 3) Диапазон плавного измерения мощности аттенюаторами выхода от 0.1 мкВт до 1 мВт.

- 4) Аттenuаторы выхода проградуированы в децибелах по мощности.
 - 5) Сечение выходного волновода 23×10 мм.
 - 6) Волномер генератора позволяет измерять любую частоту из указанного диапазона с точностью ± 5 МГц и относительную ± 2.5 МГц.
 - 7) Режим работы:
 - а. Непрерывный.
 - б. Импульсно-модулированный, возможно получение импульсов длительностью: 0.1; 0.2; 0.5; 1; 2; 10; 100 мкс.
- Предусмотрена возможность запуска импульсного генератора в ГСС от внешнего генератора импульсов (внешн. запуск).
- 8) В ГСС имеется выходное гнездо для снятия отрицательного импульса для синхронизации осциллографа, амплитудой 10 В при нагрузке 5000 Ом.
 - 9) ГСС обеспечивает непрерывную работу в течении 8 час.
 - 10) Питание генератора осуществляется от сети переменного тока с частотой 50 Гц и напряжением $220 \text{ В} \pm 10\%$.
 - 11) Потребляемая мощность не более 300 Вт при номинальном напряжении сети.
 - 12) Вес прибора 35 кг.

2.3.2. Блок-схема генератора

Блок-схема генератора дана на рис.11. Прибор содержит следующие основные узлы: генератор на отражательном клистроне, высокочастотный тракт, состоящий из волномера, индикатора уровня мощности и аттенюаторов, позволяющих регулировать уровень мощности модулятора и блока питания.

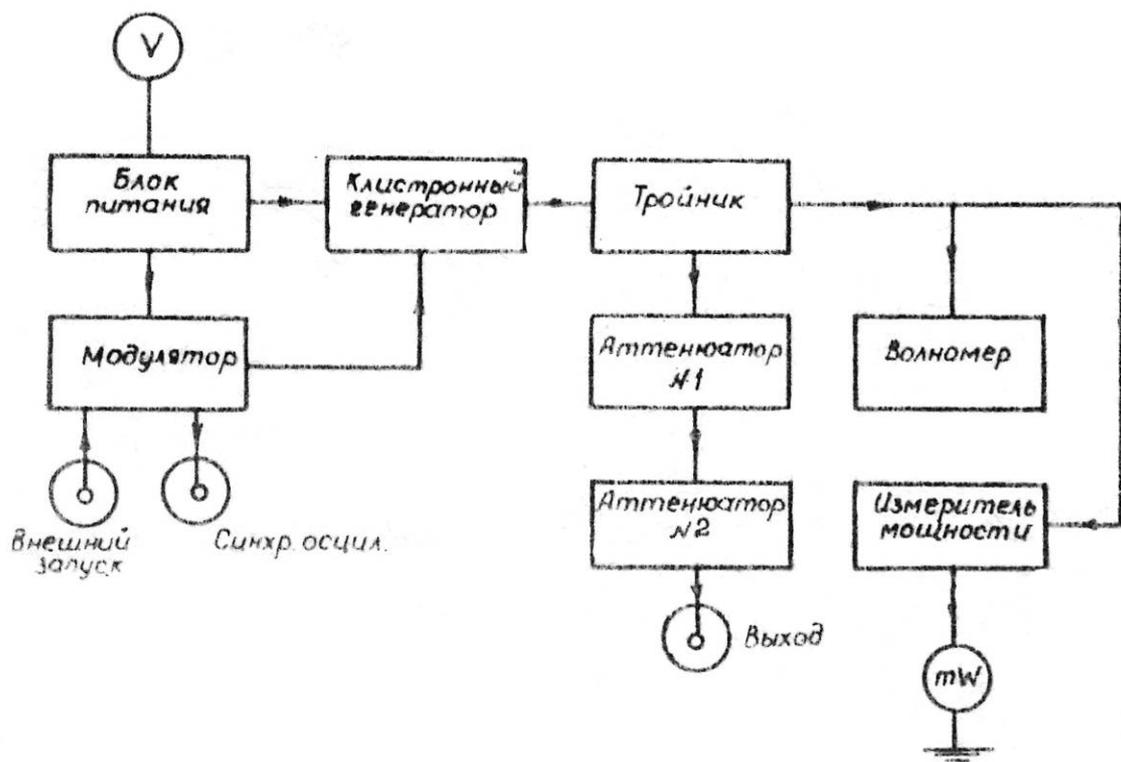


Рис. 11. Блок-схема генератора типа 43И

Энергия с генератора поступает в волновод и направляется по двум каналам, поровну распределяясь между ними. Одна половина мощности проходит через аттенюаторы №1 и №2 на выход генератора, другая – поступает на элементы, контролирующие работу генератора: волномер и термисторный измеритель мощности. Последний, измеряя величину мощности, дает возможность судить о величине ее в выходном тракте прибор, так как мощности в обоих каналах равны между собой.

На рис.12 представлена передняя панель генератора.

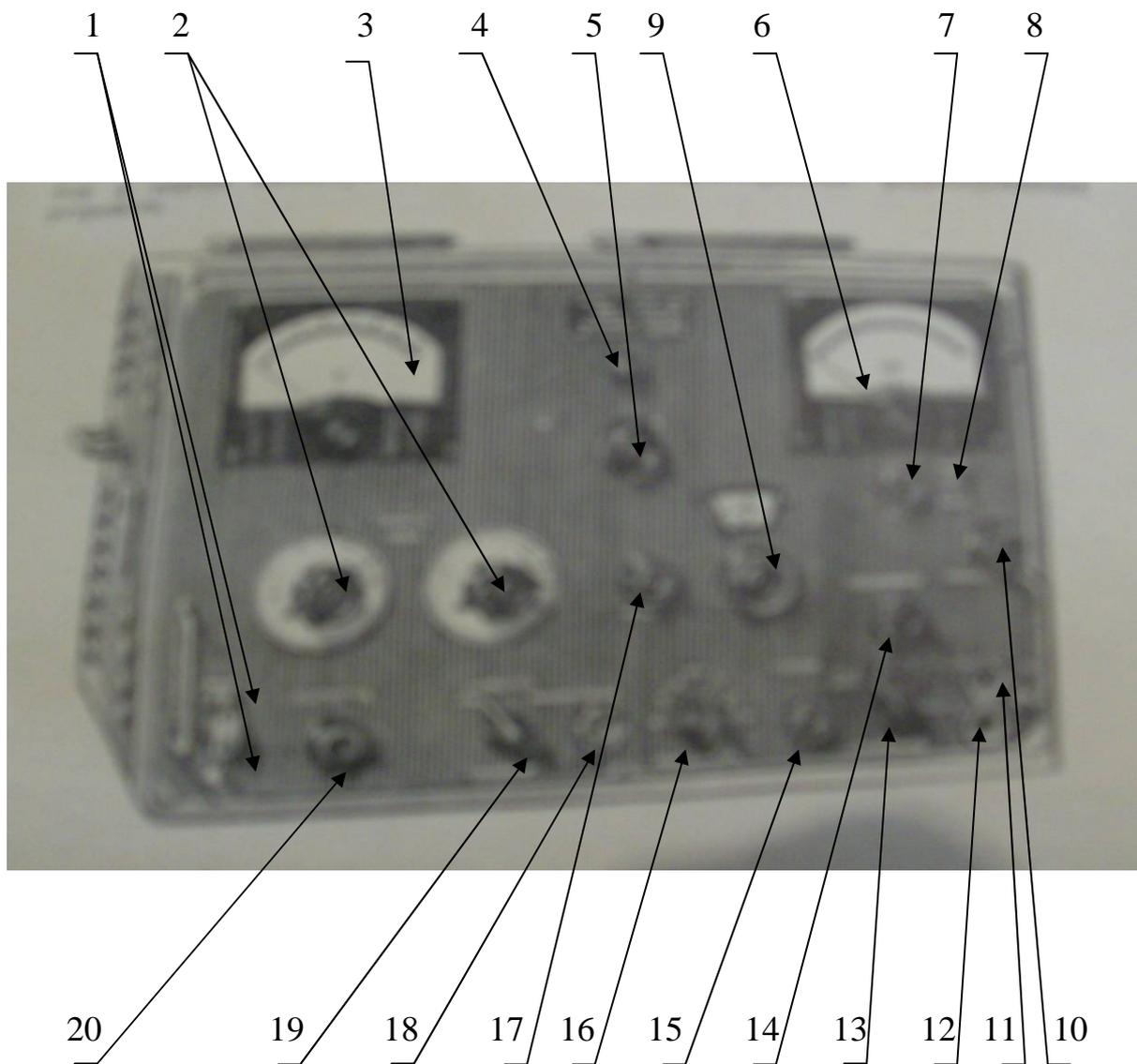


Рисунок 12. Передняя панель генератора типа 43И.

Настройка частоты генератора осуществляется ручкой «частота» (5), при этом изменяется размер резонатора отражательного клистрона.

Величину мощности, вводимую в тракт с генератора, регулируют ручкой «связь» (17), изменяя глубину погружения возбуждающего штыря клистрона.

Требуемое напряжение на отражателе клистрона для генерации регулируется ручкой (20) – «напряжение отражателя». Величина напряжения отражателя измеряется вольтметром (3).

Для измерения частоты генерируемых колебаний используется абсорбционный коаксиальный волномер, связанный с трактом с помощью зонда. Настройка волномера в резонанс с частотой колебаний в тракте осуществляется ручкой «волномер» - (9) и регистрируется по резкому спаданию показаний прибора (6), вызываемому отсосом энергии в резонатор волномера из тракта измерителя мощности.

Измерение мощности осуществляется термисторным измерителем, включенным в плечо моста. Термисторная камера настраивается ручками (10) и (7) до получения максимальных отклонений прибора (6), проградуированного в мВт. В отсутствие СВЧ мощности генератора, мост должен быть разбалансирован, что осуществляется ручкой «настройка нуля» (14), а индицируется прибором (6) (нуль показаний).

ПРИМЕЧАНИЕ:

А) Для каждой частоты СВЧ колебаний в тракте термисторная головка должна подстраиваться ручками (7), (10);

Б) Во избежание перегрузки стрелочного прибора (6) используется шунт, который включается тумблером «арретир-работа» (8) в положении «арретир». При измерении величины мощности тумблер ставится в положение «работа».

Регулировка выходной мощности от 1 мВт до 0.1 мкВт (10^{-13} Вт) осуществляется с помощью 2-х аттенуаторов (2) по 50 дБ каждый. Отсчет затухания аттенуатора производится по графикам, прилагаемым к установке.

Главный переключатель (19) позволяет изменять режим работы клистрона.

Импульсный режим работы устанавливается ручками (13), (15), (16) и контролируется на клеммах (11), (12), (18).

Включение генератора в сеть питания осуществляется главным переключателем (19). При этом напряжение подается на генератор и термисторный мост.

2.3.3. Работа с прибором в режиме непрерывных колебаний

- 1) Проверить наличие шнура питания прибора и включить его в сеть.
- 2) Поставить главный переключатель (19) в положение «непр.» и прогреть прибор 10 мин.
- 3) Аттенуаторы выхода (2) поставить в среднее положение.
- 4) Ручку «связь» (17) поставить в положение «М»
- 5) Установить по волномеру требуемую частоту (ручкой 9).
- 6) Установить нуль показаний на приборе (6) ручкой (14) «установка нуля».

- 7) Вращая ручку «связь» (17) в сторону риски «Б», добиться показаний прибора (6) – милливольтметра. Подстраивая ручками (20) «напряжение отражателя» и (7,10) – «подстройка термисторного моста», получить максимальное показание милливольтметра.
- 8) Медленно вращая ручку «частота», следя за правым индикаторным прибором, ориентировочно определить момент симметричного спада показаний, что означает, что кलिстрон настроен на требуемую частоту.

ПРИМЕЧАНИЕ:

- А) Провести подстройку термисторного моста (ручки 7, 10) – от чего показания милливольтметра должны возрасти и подстройку напряжения на отражателе, добиваясь минимального показания;
 - Б) Если работать можно на любой частоте генератора, то пункт 8 не выполняется.
- 9) Ручкой «связь» установить стрелку правого прибора на риску 1 мВт. В этом случае на вход аттенюатора подается мощность в 1 мВт.
 - 10) Оперирова одним или обоими аттенюаторами, получаем на выходе ГСС требуемые величины мощности.

ПРИМЕЧАНИЕ: Если нет необходимости в получении точной величины мощности, то пункты 9,10 не выполняются.

2.4. Генератор сигналов Г4-156

2.4.1. Основные технические данные прибора

- Диапазон частот 24,95 - 37,5 ГГц.
- Основная погрешность установки частоты выходного сигнала не более $\pm 1\%$.
- В приборе обеспечиваются следующие виды управления параметрами выходного сигнала:
 - ручное – механическое : частотой, мощностью и модуляцией;
 - по внутренней программе: частотой и мощностью;
 - дистанционное управление.
- Наибольшая гарантируемая выходная мощность не модулируемых колебаний не менее 5 мВт при КСВН нагрузки не более 1,2. Пределы регулирования выходной мощности не менее 6 - 20 дБ, а дополнительное ослабление мощности - не менее 20 дБ.

2.4.2. Подготовка генератора к работе

Потяните на себя кнопку включения сети, при этом должны включиться индикатор «-20 дБ», а на цифровом табло - запятая после второго знака слева и произвольная комбинация сегментов во всех разрядах.

2.4.3. Подготовка к проведению измерений

Нажмите дважды кнопку «ПУСК» и затем кнопку «СБРОС», должно наблюдаться свечение индикатора -20 дБ, а на цифровом табло - запятая после второго разряда слева и цифры 0 на табло «НОМЕР ШАГА».

Восьмикратным нажатием кнопки «0» наберите цифру 0 в восьми разрядах цифрового табло, затем кнопкой «СБРОС» выключите табло /будут светиться только запятая и номер шага/ и повторите эти операции с каждой оцифрованной кнопкой.

Убедитесь, что при каждом нажатии кнопок «НОМЕР ШАГА» или «ЗАПИСЬ» показания табло НОМЕР ШАГА увеличиваются на единицу.

Последовательным нажатием кнопок ПУСК и РУЧ. включите световые индикаторы над ними.

Кнопками «1» и «2» проверьте по цифровому табло возможность перестройки прибора по частоте соответственно в сторону уменьшения и увеличения частоты до ограничения.

Кнопками «3» и «4» проверьте по цифровому табло возможность регулирования уровня мощности в пределах от 00 по 99.

Кнопками с цифрами от «6» до 8 проверьте возможность переключения режимов модуляции по индикаторам, $\lfloor _ \rfloor$ ВНШ., $\lfloor _ \rfloor$, НГ.

ВНИМАНИЕ ! Модуляция меандром при включении индикаторов $\lfloor _ \rfloor$, или ВНЕШ. $\lfloor _ \rfloor$

Прибор готов к проведению измерений через 30 мин после включения.

2.4.4. Проведение измерений

Последовательно нажмите кнопки «ПУСК», «РУЧ».

Перестройте прибор, на требуемую частоту кнопками «1» и «2».

Установите требуемый режим модуляции, включив индикатор « $\sim \lfloor _ \rfloor$ »

Установите требуемый уровень мощности кнопками «3» и «4», при необходимости более плавной установки мощности, пользуйтесь внешним аттенюатором.



Рис.13. Внешний вид генератора сигналов Г4-156

ВНИМАНИЕ. Уменьшая мощность кнопкой «3», следите за уровнем мощности по цифровому табло прибора, помните, что при изменении показаний табло **УРОВЕНЬ МОЩНОСТИ** от 00 до 99 на выходе прибора мощность возрастает скачком на 20 – 30 дБ.

При регулировке уровня мощности следует иметь в виду, что минимальная мощность на выходе прибора может быть при показаниях табло **УРОВЕНЬ МОЩНОСТИ** отличник от 00. Поэтому в отдельных случаях при увеличении показаний табло от 00 до 99 уровень мощности на выходе прибора сначала уменьшается, а затем начинает увеличиваться.

2.4.5. Приложение

2.4.5.1. Подготовка к работе

До включения прибора произведите следующие операции:

- соедините клемму  с шиной защитного заземления;
- убедитесь в наличии плавких вставок в цепи сети питания;
- установите крышку, закрывающую держатели плавких вставок, так, чтобы точка на ней находилась под значением требуемой частоты сети питания;
- подключите вилку сетевого соединительного шнура к розетке сети питания;
- потяните на себя кнопку включения сети; при этом должны включиться индикатор «-20 dB», а на цифровом табло — запятая после второго знака слева и произвольная комбинация сегментов во всех разрядах.

2.4.5.2. Порядок работы

Подготовка к проведению измерений

1. Выполните операции, изложенные в разделе 2.4.5.1. «Подготовка к работе».
2. После включения прибора убедитесь в его функционировании путем проверки действия основных органов управления и индикации в нижеуказанной последовательности:
 - нажмите дважды кнопку ПУСК и затем кнопку СБРОС; должно наблюдаться свечение индикатора «-20 dB», а на цифровом табло — запятой после второго разряда слева и цифры «0» на табло **НОМЕР ШАГА**;
 - восьмикратным нажатием кнопки «0» наберите цифру «0» в восьми разрядах цифрового табло, затем кнопкой СБРОС выключите табло (будут светиться только запятая и номер шага) и повторите эти операции с каждой оцифрованной кнопкой;
 - убедитесь, что при каждом нажатии кнопок **НОМЕР ШАГА** и (или) **ЗАПИСЬ** показания табло **НОМЕР ШАГА** увеличиваются на единицу;
 - последовательным нажатием кнопок ПУСК и РУЧ. включите световые индикаторы над ними;

Для установки частоты вблизи краев диапазона после перестройки ее до ограничения, необходимо предварительно соответствующей кнопкой отстроиться от ограничения вглубь рабочего диапазона частот.

3. Для работы прибора в режиме автоматического управления введите программу:

— оцифрованными кнопками последовательно введите значения требуемой частоты (первые четыре цифры), уровня мощности (пятая и шестая цифры), времени работы прибора на данной частоте (седьмая и восьмая цифры), контролируя правильность набора команды по Цифровым индикаторам прибора;

— нажмите кнопку ЗАПИСЬ, при этом набранная команда записывается в ячейку ОЗУ, номер которой индицировался на индикаторе НОМЕР ШАГА до нажатия кнопки ЗАПИСЬ;

— нажмите кнопку СБРОС и введите следующую команду в указанной выше последовательности;

— запись команды «Конец программы» осуществляется последовательным нажатием кнопок СБРОС, ЗАПИСЬ;

— включите автоматический режим работы нажатием кнопки ПУСК;

— установите требуемый режим модуляции, как указано в п. 2.

Примечания: 1. Число команд управления, хранящихся в ОЗУ прибора не более 16 (номера шагов от «0» до «15»).

2. При необходимости корректировки программ или выборе управляющих команд по произвольно выбранным адресам

ОЗУ (в пределах 0—15) требуемый номер шага (адрес) устанавливается кнопкой НОМЕР ШАГА.

3. При включённом индикаторе ПУСК и нажатии любой из кнопок НОМЕР ШАГА или ЗАПИСЬ содержимое ОЗУ не изменяется.

4. Время работы прибора на каждом шаге программы не должно превышать 15 мин. (900 с). Набирать код 99 (что соответствует 990 с) для записи времени работы на любом шаге программы запрещается.

5. Если не введена команда «Конец программы» и во все 16 шагов программы записаны управляющие команды, то прибор работает в непрерывном цикле до его остановки нажатием кнопки ПУСК (с выключением индикатора ПУСК).

6. При работе прибора в любом режиме мигание цифровых индикаторов с частотой около 0,5 Гц сигнализирует о срыве генерации в КГ.

4. Для работы прибора в режиме управления от внешнего управляющего устройства:

— подключите к розетке Ш9 ДУ прибора кабель от управляющего устройства; необходимо обратить внимание на то, чтобы управляющие сигналы были только положительной полярности, амплитудой не более 4 В при низком выходном сопротивлении источника управляющих сигналов и не более 5 В при выходном сопротивлении этого источника порядка 1 кОм;

— управляющие сигналы должны быть потенциальными, т. е. должны быть приложены ко входу ДУ все время, в течение которого должны выполняться передаваемые ими команды;

— для переключения прибора в режим управления от внешнего управляющего устройства необходимо выполнить два условия: должен быть включен индикатор ПУСК и на шину «Запрет ДУ» (контакт 44 розетки Ш9) подан сигнал «0».

На вход ДУ прибора должен подаваться код, состоящий из 14-битового ДК частоты (4 декады в ДДК), 8-битового ДК уровня мощности (2 декады в ДДК), 3-битового ДК режима модуляции.

Через розетку ДУ прибора на внешнее управляющее устройство подаются: — сигнал окончания перестройки прибора на требуемую частоту по шине «Готов» (контакт 45 розетки Ш9);

По шинам «Данные А», «Данные В», «Данные С», «Данные D». (контакты 46—49 розетки Ш9) передается четырехразрядный последовательно-параллельный код РГУ (), по шине «Синхронизация А» (контакт 2 розетки Ш9) сигнал сопровождения каждых четырех разрядов, передаваемых по шинам «Данные». Сигналы передачи данных из РГУ присутствуют на розетке ДУ во всех рабочих режимах прибора.

3. Элементы волноводного тракта

3.1. Волноводная детекторная секция

Детекторная секция (рис.14) состоит из отрезка стандартного прямоугольного волновода 1 сечением 23*10 мм с поршнем 2 и фланцем 7 для присоединения к волноводной линии, устройств для крепления кристаллического детектора, коаксиального разъема и для присоединения измерительного прибора.

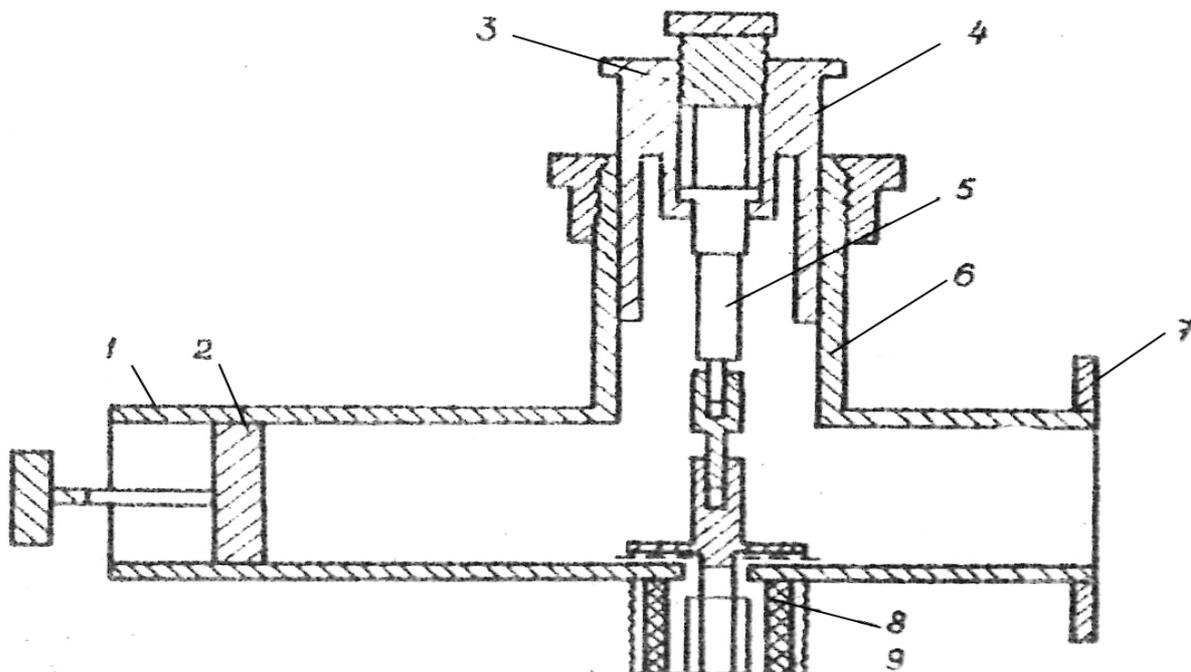


Рис.14. Волноводная детекторная секция

Устройство для крепления детектора состоит из втулки 6, припаянной к широкой стенке волновода, в которую вставляется кристаллодержатель 4. Детектор 5 удерживается во втулке кристаллодержателя с помощью пробки 3. В устройстве для присоединения измерительного прибора входит втулка 8, припаянная к волноводу и имеющая внешнюю резьбу под накидную гайку коаксиального разъема кабеля индикаторного устройства. Во втулке находится диэлектрическая шайба 9 и гнездо 10.

Принцип работы волноводной детекторной секции заключается в следующем. Электромагнитная энергия сигнала высокой частоты в виде волны H_{10} доходит до места установки детектора и наводит ЭДС в его наконечнике и гнезде. Если к детектору подводятся модулированные колебания. То при положительных полупериодах через него будут проходить импульсы тока, состоящие из постоянной составляющей, переменной составляющей низкой модулирующей частоты и гармоник, которые будут шунтироваться имеющейся емкостью. Напряжение, создаваемое на выходе детектора низкочастотной составляющей, подводится к усилителю, а затем к измерительному прибору.

Поскольку при малых сигналах характеристика детектора является квадратичной, то амплитуда переменной составляющей низкой модулирующей частоты будет пропорциональна квадрату амплитуды волны, распространяющейся в детекторной секции, и, следовательно, показания измерительного прибора будут пропорциональны мощности, подводимой к детектору. При наличии в волноводе немодулированных колебаний в импульсе тока, будет отсутствовать составляющая низкой частоты, и в выходной цепи детектора будет иметь место только составляющая тока, которая подается непосредственно к измерительному прибору. В этом случае показания измерительного прибора при квадратичной характеристике детектора также будут пропорциональны мощности, поступающей в детекторную секцию, так как амплитуда постоянной составляющей тока пропорциональна квадрату амплитуды волны, распространяющейся в волноводе.

Для настройки детекторной секции наконечник детектора надо расположить в максимуме электрического поля. С этой целью последовательно перемещают поршень (2), кристаллодержатель (4) так, чтобы показания измерительного прибора, т.е. $K_{\text{вс}}$ в волноводе, к которому подключена детекторная секция, были максимальными.

К наиболее часто встречающимся неисправностям волноводной секции следует отнести выход из строя детектора или плохой контакт в каком-либо месте. Неисправность детектора можно установить либо с помощью прибора «Измеритель кристаллических детекторов», либо с помощью омметра, измеряя прямое и обратное сопротивления. Детектор можно считать хорошим, если прямое его сопротивление составляет 500-1000 Ом, а обратное – не меньше – 5 КОм.

3.2. Двойной волноводный тройник типа Э8-1

Волноводный тройник служит основным элементом волноводных систем измерения полного сопротивления и других волноводных схем.

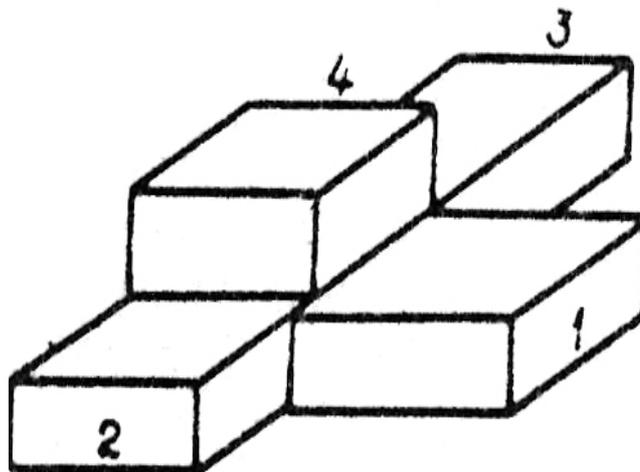


Рис.15. Двойной волноводный тройник

3.2.1. Основные технические данные

Диапазон рабочих частот 8600-9600 МГц. Максимальный K_{CB} - 1.25; сечение волновода $23*10$ мм².

3.2.2. Схема и принцип действия

Соединение, образованное тройником в плоскости Е и тройником в плоскости Н, имеющими общую плоскость симметрии, называется Т-мостом (рис.15). К свойствам двойного волноводного тройника следует отнести:

При четном распределении электрического поля относительно плоскости симметрии тройника – (относительно плеч 2 и 3) энергия ответвляется только в плечо 1 (Н-плечо) и не поступает в плечо 4 (Е-плечо), т.е. плечи 1 и 4 оказываются развязанными. В общем случае развязанными оказываются любые два противоположных плеча двойного тройника. Реально достижимая развязка составляет обычно от 30 до 50 дБ.

Условием связи между плечами 1 и 4 при возбуждении, например, из плеча 1 является наличие нечетного электрического поля в плоскости симметрии тройника. Этому можно удовлетворить при наличии отраженных волн в плечах 2 и 3 при разных фазах отражения. Наиболее полная связь между плечами 1 и 4 достигается при разности фаз, равной π , вол. во 2 и 3 плечах.

Перечисленные свойства позволяют сделать вывод, что двойной тройник подобен обычной мостовой схеме.

3.3. Трансформатор полных сопротивлений

Трансформатор полных сопротивлений предназначен для согласования сопротивления нагрузки волноводной линии с отличающимся от него волновым сопротивлением волновода.

3.3.1. Схема и принцип действия

Согласование сопротивления нагрузки волноводной линии с волновым сопротивлением волновода производится с помощью двух кварцевых пробок, помещенных в волновод (рис.16а). Волна, распространяющаяся по волноводу, прежде чем достичь нагрузки, подлежащей согласованию, проходит через кварцевые пробки. У каждой плоскости раздела между кварцем и воздухом происходит отражение волны. Результирующий K_{CB} перед первой пробкой будет определяться K_{CB} нагрузки и системы пробок, а также расстоянием между нагрузкой и пробками, которое определяет фазу каждой из отраженных волн. Если фазы отраженных волн нагрузки и системы пробок противоположны, а их K_{CB} равны, то до трансформатора и волновода будет существовать чисто бегущая волна, которая характеризует полное согласование сопротивления нагрузки с волновым сопротивлением волновода. K_{CB} системы пробок в свою очередь зависит от K_{CB} каждой из пробок и расстояния между ними. Изменяя последнее, можно изменять коэффициент стоячей волны системы пробок от 1 до максимума.

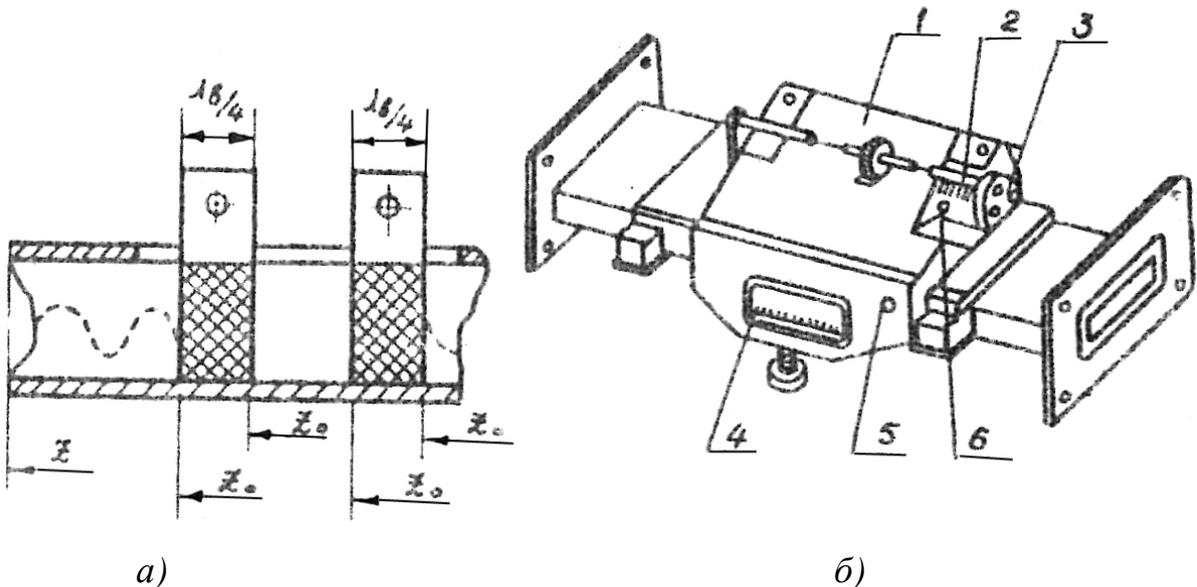


Рис.16. Трансформатор полных сопротивлений

Конструктивное оформление прибора видно на рис.16б. Волновод находится в корпусе, по направляющим которого с помощью ручки шестерни с рейкой передвигается каретка (1). В цилиндрической выемке каретки помещены плун-

жеры (2), на концах которых с помощью хвостиков укреплены кварцевые пробки. С другой стороны, плунжеры имеют кронштейн (3), в который ввинчен ходовой винт с кольцом, служащим для изменения расстояния между пробками. Для определения этого расстояния служит шкала (6) с делением через 1 мм и нониус, обеспечивающий точность отсчета в 0.1 мм. Показания шкалы (6) необходимо удваивать. Передвижением системы пробок вдоль волновода, осуществляемой движением каретки (1), подбирается такое положение пробок, чтобы волна, отраженная от них, была в противофазе с волной, отраженной от нагрузки. Для определения положения каретки существует другая шкала и нониус (4) с точностью отсчета 0.1 мм. Каретка с помощью стопорного винта (5) может быть фиксирована в нужном положении. Ход каретки равен 36 мм.

3.3.2. Правила пользования прибором

Соединить трансформатор полных сопротивлений с волноводом, обратив особое внимание на совпадение осей волноводов и на плотность прилегания фланцев друг к другу.

Вращая попеременно кольцо и ручку прибора и одновременно следя за величиной K_{CB} по измерителю K_{CB} , следует снизить K_{CB} до желаемого значения. Величина K_{CB} , до которой можно произвести согласование, лежит в пределах 1.02-1.1.

При контроле K_{CB} с помощью измерительной линии с ручным приводом настройку нужно осуществлять, пользуясь показанием индикатора измерительной линии в точке максимума или минимума электрического поля. Наблюдая за минимальным показанием, его нужно повышать до выравнивания с максимальным показанием, и, наоборот, максимальное показание следует понижать до выравнивания с минимумом. Следует учесть сдвиг точек максимума и минимума при настройке. Нужно иметь в виду, что более тщательная установка требуется для кольца, т.к. смещение плунжеров на 0.1 мм уже значительно ухудшает K_{CB} .

В том случае, если в составе нагрузки имеется приемник с индикатором, например, приемная детекторная секция, измеритель мощности, то настройку трансформатора полных сопротивлений можно производить, руководствуясь показаниями индикаторов приемных устройств.

3.4. Атенюатор

Переменный аттенюатор, как элемент волноводного тракта, служит для плавного ослабления передаваемой по волноводу мощности.

3.4.1. Основные технические характеристики

Диапазон частот 8600-9600 МГц. Максимальная входная мощность 0.5 ватт. Начальное ослабление аттенюатора 0.6 дБ. Максимальное затухание каждого аттенюатора не менее 35 дБ на частоте 9370 МГц (полный комплект состоит из

трех аттенюаторов). Абсолютная точность ослабления ± 0.8 дБ. Коэффициент стоячей волны не больше 1.15 для частоты 9370 МГц, не больше 1.20 для остальных частот диапазонов. Сечение волновода 23*10 мм.

3.4.2. Схема и принцип действия

Схематически аттенюатор представлен на рис.17. Пластинка с нанесенным на нее поглощающим слоем при помощи ручки и кулачкового механизма перемещается от стенки к середине волновода. Чем ближе пластинка расположена к середине волновода, тем больше рассеивается электромагнитной энергии в поглощающем слое.

3.4.3. Правила пользования прибором

Величина вносимого аттенюатором ослабления отсчитывается по двум шкалам, нанесенным на лимбе: наружная – для точной установки требуемого ослабления с помощью градуировочного графика и внутренняя – для приблизительной установки ослабления без применения графика.

Точная установка нужного ослабления на шкалах аттенюатора производится следующим образом.

1. Если ослабление меньше 35 дБ, то с помощью градуировочного графика для первого аттенюатора определяется деление шкалы, соответствующее требуемому ослаблению. Указание аттенюатора устанавливается на это деление.

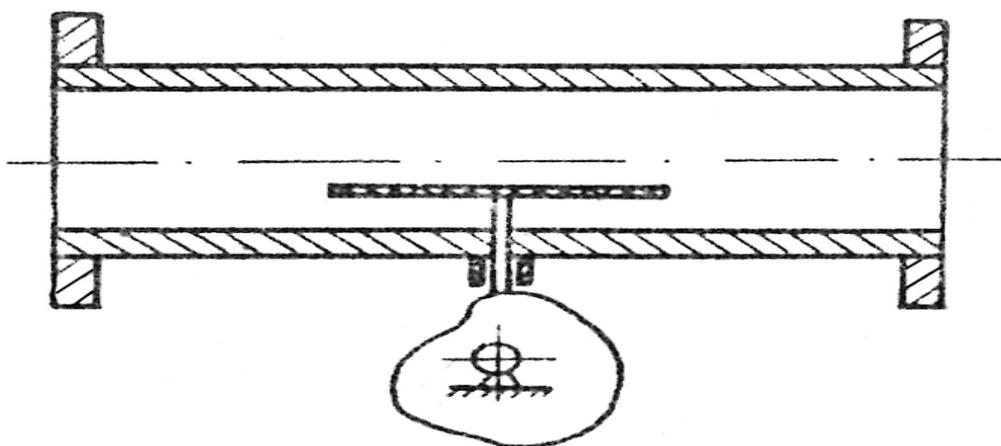


Рис.17. Переменный аттенюатор

2. При ослаблении от 35 до 70 дБ в волноводный тракт включается два аттенюатора последовательно. На первом аттенюаторе указатель по графику устанавливается на деление 35. По графику для второго аттенюатора отыскивается деление, соответствующее ослаблению введенного на первом аттенюаторе, и на него устанавливается указатель второго аттенюатора.
3. При ослаблении сверх 70 дБ в волноводный тракт включается три аттенюатора последовательно. На первом и втором аттенюаторе указа-

тели по графикам устанавливаются на деление 35 дБ, а недостающее ослабление вводится на третьем аттенюаторе согласно его графику.

Помимо внесения заданного ослабления в волноводный тракт аттенюатор позволяет измерять ослабление, создаваемое отдельными элементами волноводного тракта. Измерение производится следующим образом (рис 18): при полностью выведенном контрольном аттенюаторе замечают показания индикатора. Затем из схемы выключают измеряемый объект, и аттенюатор подключают непосредственно к генератору. Вводя аттенюатор, устанавливают первоначальное показание индикатора. Установленное на шкале ослабление соответствует ослаблению, которое вносится измеряемым объектом. Начальное ослабление аттенюатора при этом учитывать не нужно. При измерении больших ослаблений в схему включают два или три аттенюатора последовательно.

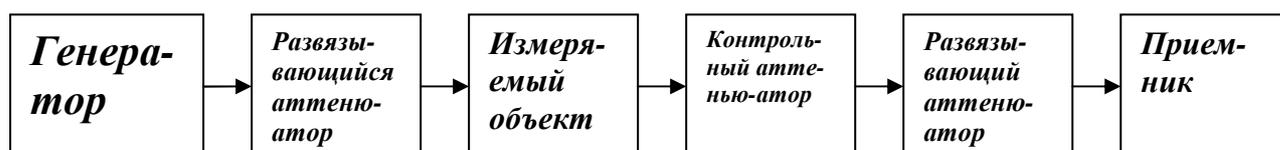


Рис.18.Схема включения аттенюаторов

3.5. Эквивалент антенны

Эквивалент антенны служит нагрузкой волноводного тракта радиоустройств и является, таким образом, заменителем антенной системы.

3.5.1. Основные технические характеристики

Диапазон частот 8600-9600 МГц. Максимальная средняя входная мощность 5 ватт. $K_{св}$ не больше 1.15 на частоте 9370 МГц и не больше 1.20 на всех остальных частотах. Сечение волновода 23*10 мм. Температура нагрева до +110° С.

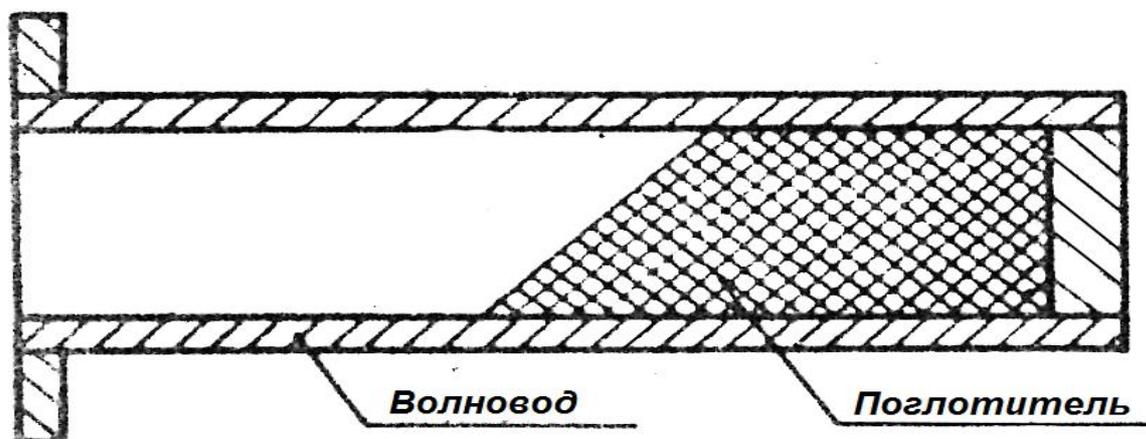


Рис.19. Схема устройства эквивалента антенны

3.5.2. Схема и принцип действия

В волноводе в качестве эквивалента антенны (рис. 19) помещен диэлектрический образец с большим коэффициентом поглощения (большой проводимостью). Электромагнитная энергия волны поглощается в образце и переходит в тепло практически вся (отражается менее 1% мощности).

3.6. Направленный ответвитель

Направленный ответвитель предназначен для направленного ответвления части мощности ВЧ колебаний, распространяющихся по тракту, реагируя только на падающую или только на отраженную волну в зависимости от способа включения.

3.6.1. Схема и принцип работы

Схема прибора представлена на рис.20. Направленный ответвитель – устройство, состоящее из двух электрически связанных между собой отрезков линий (основной и вспомогательной), имеющих общую стенку (узкую или широкую). В стенке сделаны отверстия, через которые небольшая часть мощности ответвляется во вспомогательный волновод. Если отверстия выполнены в узкой стенке – связь чисто магнитная, в широкой – смешанная. Количество отверстий, их форма и размеры определяют параметры направленного ответвителя.

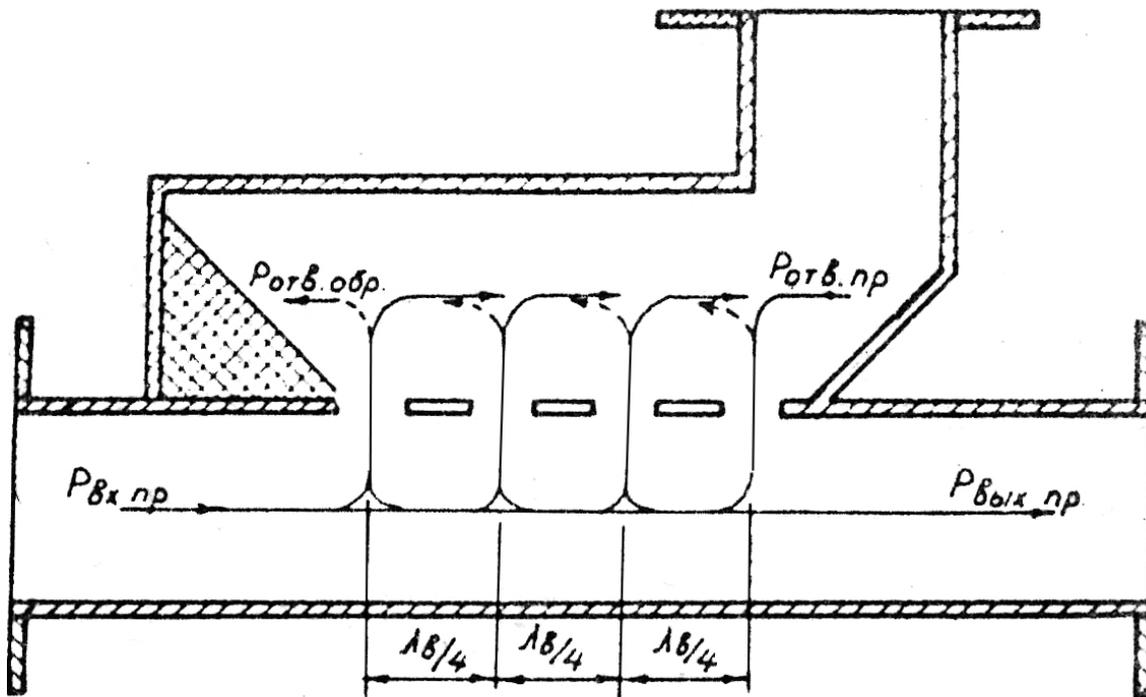


Рис.20. Направленный ответвитель

Параметрами направленного ответвителя являются:

- переходное ослабление - $C = 10 \lg \frac{P_{отв.пр}}{P_{вх.пр}}$;

- коэффициент направленности $D = \lg \frac{P_{отв.обр}}{P_{отв.пр}}$;

- диапазон рабочих частот, в пределах которого сохраняются параметры S и D ;

- допустимая мощность рассеивания (определяется согласованной нагрузкой);

- коэффициент стоячей волны $K_{СВ}$.

Направленный ответвитель может использоваться как составная деталь различных элементов: например, рефлектометр, фиксированный ослабитель и т.п.

В случае фиксированного ослабителя к выходу основного волновода подключается согласованная нагрузка, а все устройство становится четырехполусником.

3.7. Ферритовый циркулятор

На малых уровнях мощности обычно применяются Y – циркуляторы, которые благодаря исключительно малым размерам и хорошим параметрам нашли в технике СВЧ широкое применение. Они разработаны в настоящее время для длин волн от 15 м до 2 мм.

3.7.1. Принцип действия Y – циркуляторов

Волноводный Y – циркулятор представляет собой симметричное соединение волноводов под углом 120° (рис. 21), то есть шестиполусник на основе симметричного волноводного H -тройника. Электромагнитная волна, поступающая, например, в плечо 1 такого разветвления, делится поровну между плечами 2 и 3.

При этом нагрузка плеча равна половине волнового сопротивления волновода, коэффициент отражения равен $1/3$, а коэффициент стоячей волны (КСВ) равен двум.

Если поместить в центр разветвления поперечно-намагниченный феррит, то можно сделать устройство невзаимным. В зависимости от направления магнитного поля, подмагничивающего феррит, электромагнитные волны в разветвлении будут распространяться или в направлении $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$ или $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$. Таким образом, наше устройство превратится в циркулятор. В идеальном случае к плечу 1 оказывается подключенным сопротивление, равное волновому (либо плечо 2, либо – 3) коэффи-

коэффициент отражения от циркулятора тогда равен нулю, а коэффициент стоячей волны – единице. В общем случае полного согласования в широком диапазоне частот добиться не удастся, и часть энергии будет просачиваться в развязанный канал.

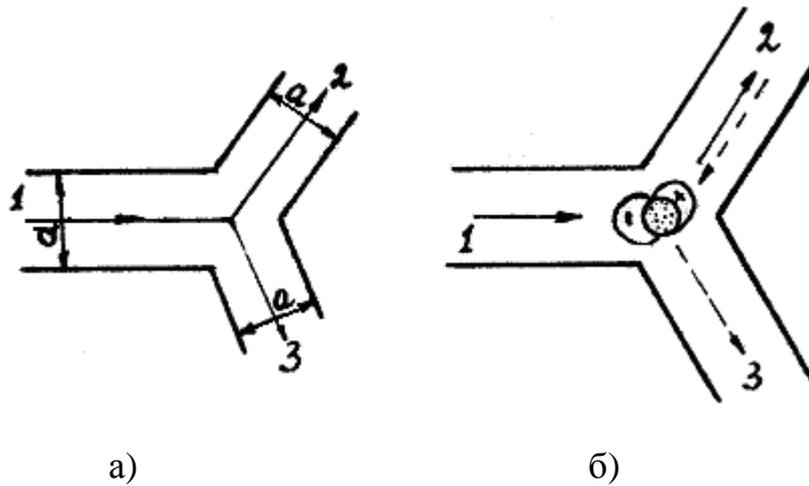


Рис.21. Волноводный Y- циркулятор

а) волноводный тройник

б) волноводный тройник с ферритом

Рассмотрим подробнее принцип работы Y – циркулятора.

Пусть электромагнитная волна типа H_{10} поступает в плечо 1. Достигнув феррита, она распадается на две волны того же типа, одна из которых (левая) обегает феррит по часовой стрелке, другая (правая) против часовой стрелки. Вращение вектора магнитного поля в «левой» и «правой» волнах противоположно, поэтому они имеют различные фазовые скорости, проходя один и тот же путь l_n вдоль поверхности феррита получают разные фазовые сдвиги:

$$\varphi^+ = \beta^+ l_n \quad \text{и} \quad \varphi^- = \beta^- l_n$$

Далее, две бегущие навстречу друг другу по поверхности ферритового цилиндра волны интерферируют и образуют стоячую волну, электрическое поле которой (определяется размерами и параметрами феррита) образует пучность напротив плеча 2 и узел – напротив 3 плеча (рис. 21б). Это приводит к возбуждению плеча 2 и к не поступлению энергии в плечо 3. Аналогично можно объяснить прохож-

дение энергии из плеча 2 в 3 и из 3 в 1. То есть распространение поля Y – циркуля

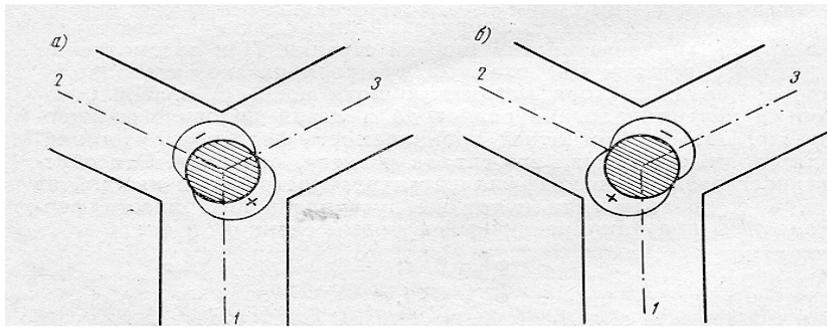


Рис. 22 Пространственное распределение поля

нитного поля, прилагаемого вдоль оси цилиндра. По мере увеличения напряженности намагничивающего поля нули и максимумы, показанные на рис. 22 слева, поворачиваются вокруг оси цилиндра по или против часовой стрелки в зависимости от направления постоянного магнитного поля.

лятора происходит в направлении $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 1$.

Пространственное распределение нулей и максимумов электрического поля зависят от напряженности внешнего маг-

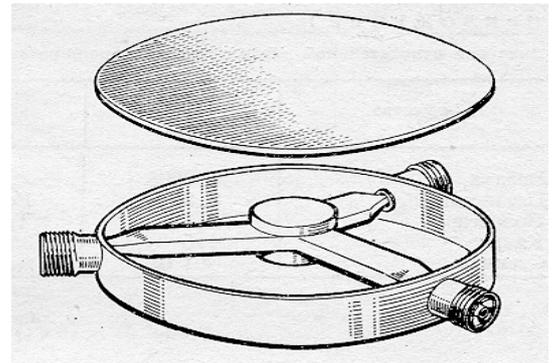


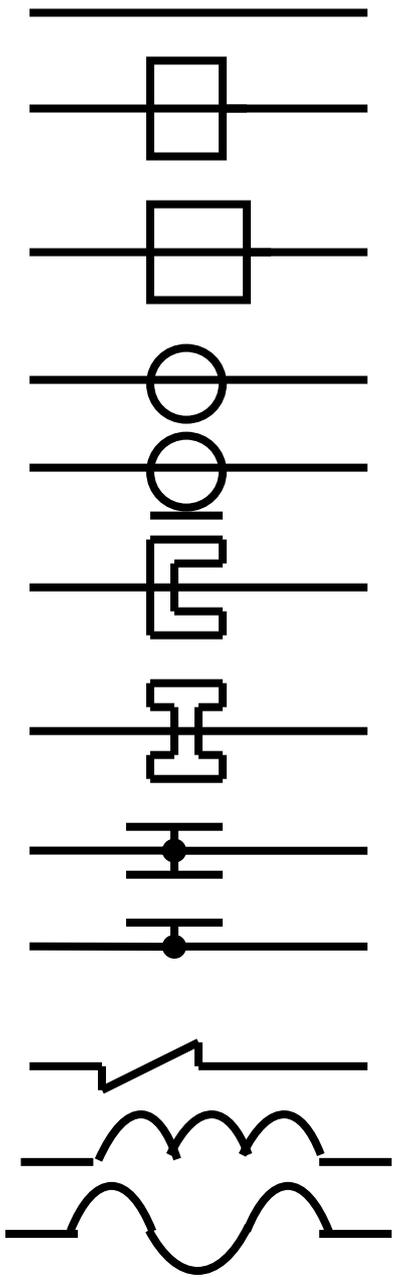
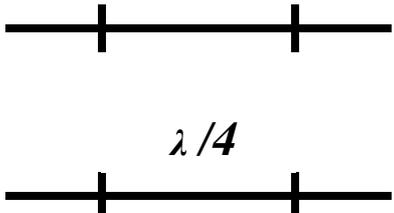
Рис. 23 Внешний вид циркулятора

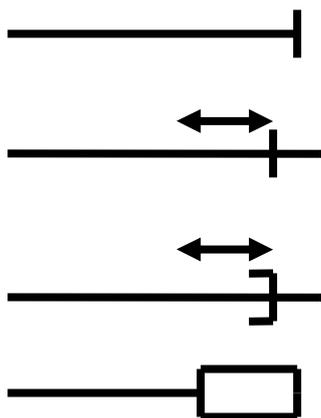
Если изменить направление внешнего магнитного поля, приложенного к ферритовому цилиндру на противоположное, то поменяются местами волны H^+ и H^- , структура поля на поверхности изменится так, что узел электрического поля совпадает с осью волновода в плече 2 (рис. 22, справа). Направление циркуляции изменится на противоположное ($1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$). Внешний вид и устройство циркулятора показан на рис. 23.

3.7.2. Параметры Y – циркуляторов

Полоса частот, в которой развязка между каналами не ниже 20-25 дБ, для Y – циркуляторов составляет 3-7 % от средней частоты f_0 . Окружение образца феррита диэлектрической оболочкой с $\epsilon_r = 2-6$ способствует расширению полосы устройства. Этому же способствует размещение диэлектрических стержней в каждом плече.

ОБОЗНАЧЕНИЕ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧИ СВЧ

ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ
	<p>I. Волновод.</p> <p>а) общее обозначение</p> <p>б) прямоугольный</p> <p>в) квадратный</p> <p>г) круглый</p> <p>д) коаксиальный</p> <p>е) П-образный</p> <p>ж) Н-образный</p> <p>з) полосковый симметричный</p> <p>и) полосковый несимметричный</p> <p>к) скрученный</p> <p>л) спиральный</p> <p>м) гибкий</p>
	<p>II. ОТРЕЗОК ВОЛНОВОДА С ХАРАКТЕРНЫМИ СВОЙСТВАМИ</p> <p>а) общее обозначение</p> <p>б) отрезок волновода $\lambda/4$</p>



в) короткозамкнутый

г) короткозамыкатель контактный

д) подвижный, реактивный

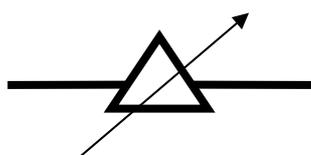
е) нагрузка поглощающая

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОСТОЯННАЯ



а) общее обозначение

НЕОДНОРОДНОСТЬ РЕГУЛИРУЕМАЯ



б) общее обозначение

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ



в) общее обозначение

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ



г) общее обозначение

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ



а) емкостная



б) индуктивная



в) резонансная (резонанс токов)



г) резонансная (резонанс напряжений)



а) емкостная



б) индуктивная



в) резонансная (резонанс токов)

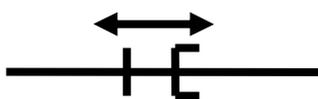


г) резонансная (резонанс напряжений)

III. СОЕДИНЕНИЕ ВОЛНОВОДОВ



а) контактное скользящее



б) реактивное скользящее



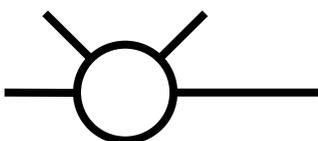
в) реактивное вращающееся



г) Т-образное (общее обозначение)

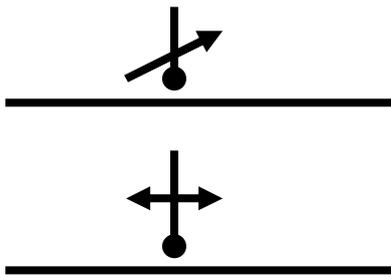


д) Т-образное с указанием плоскости соединения



е) кольцо гибридное

	<p>ж) соединение трех волноводов, два из которых лежат в одной плоскости, а третий – перпендикулярен к ним.</p> <p>з) двойной тройник (“магическое Т”)</p> <p>и) контактное симметричное</p> <p>к) контактное несимметричное</p> <p>л) реактивное без разрыва электрической цепи по постоянному току.</p> <p>м) реактивное с разрывом электрической цепи по постоянному току.</p> <p>IV. ЭЛЕМЕНТЫ СВЯЗИ С ВОЛНОВОДОМ</p> <p>а) петля</p> <p>б) зонд</p> <p>в) регулируемый (общее обозначение)</p> <p>г) отверстие</p> <p>д) петля (регулируемая)</p>
--	--



е) зонд (регулируемый)

ж) зонд подвижный

V.РЕЗОНАТОР

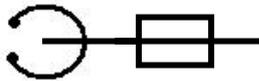
а) ненастраиваемый (общее обозначение)



б) настраиваемый



в) связанный с прямоугольным волноводом



г) последовательное и параллельное включение в волновод



д) резонаторы, соединенные отверстием связи



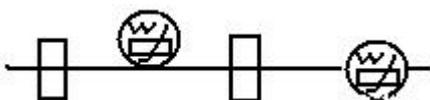
VI.ВКЛЮЧЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА И ВОЛНОВОД.



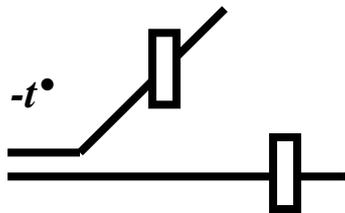
измеритель мощности



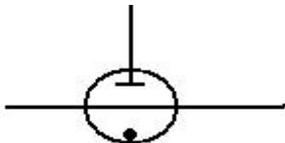
частотомер



включение болометра в волновод



включение термистора в волновод



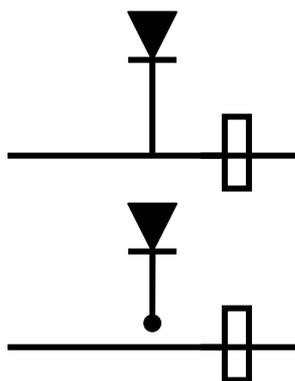
включение вакуумного диода в волновод



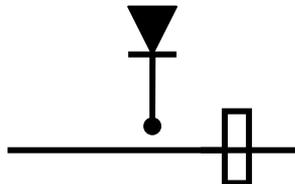
устройство согласующее E-H



устройство согласующее много-шлейфное (например, трехшлейфное)

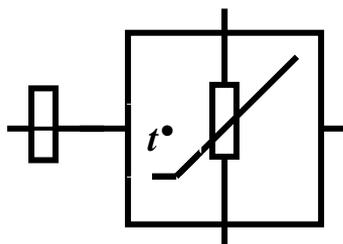


включение п/п диода в волновод (непосредственно)

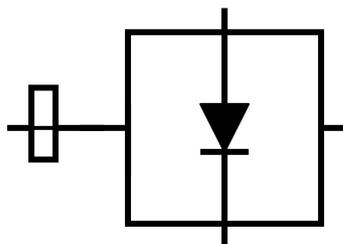


через зонд

При необходимости допускается использовать следующие обозначения:



включение термистора



включение п/п диода

VII. ЭЛЕМЕНТЫ ВОЛНОВОДНОГО ТРАКТА

аттенюатор поглощающий

а) постоянный

б) переменный

в) предельный

переход с одного типа волновода на другой

а) общее обозначение

б) переход с круглого волновода на прямоугольный

в) волноводно-коаксиальный

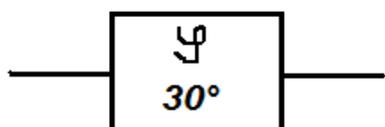
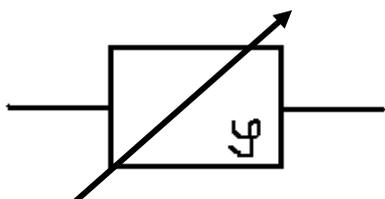
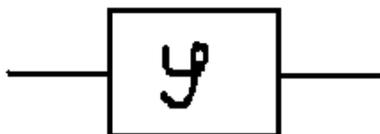
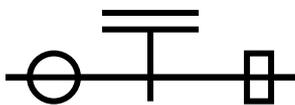
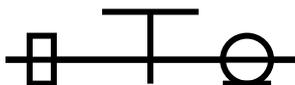
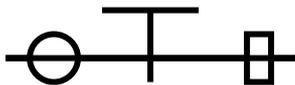
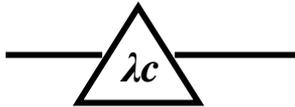
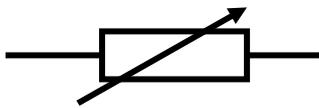
г) плавный

д) ступенчатый

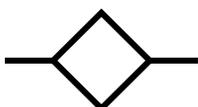
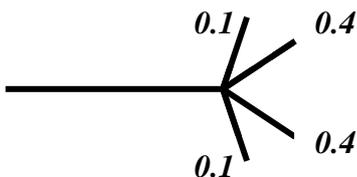
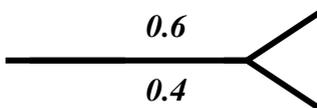
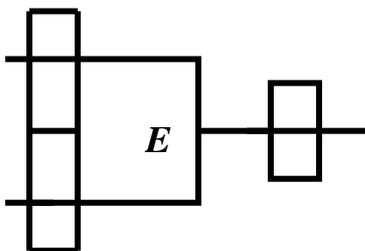
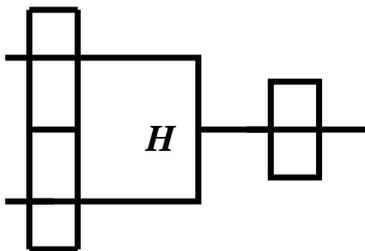
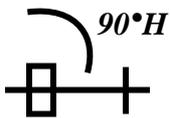
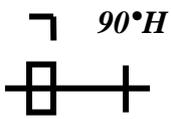
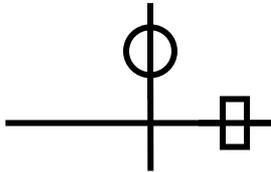
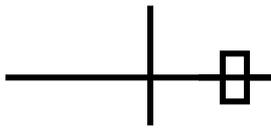
фазовращатель (нерегулируемый)

фазовращатель (регулируемый)

фазовращатель фиксированный



Волновод(например, прямоугольный), графически пересеченный по схеме:



или



а) проводом

б) волноводом (например, круглым)

в) волновод прямой, графически изогнутый на схеме

Изгиб волновода(например, прямоугольного) от конструкции:

а) уголкового

б) радиусный

Переход со сдвоенного прямоугольного волновода на одинарный:

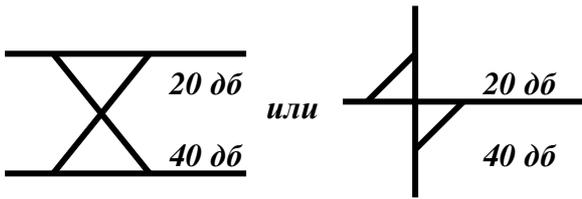
а) волноводы соприкасаются узкими стенками

б) волноводы соприкасаются широкими стенками

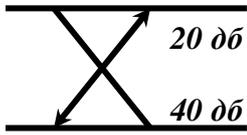
делитель мощности на два направления

делитель мощности на четыре направления (цифры указывают соотношение делимых мощностей)

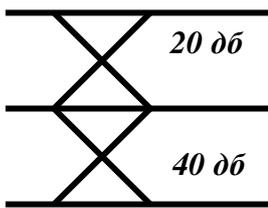
ответвитель четырехплечий



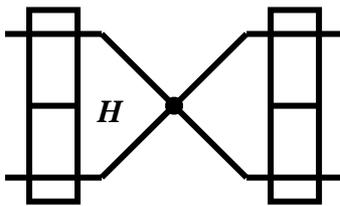
ответвитель направленный (верхнее число обозначает переходное затухание, нижнее – направленность)



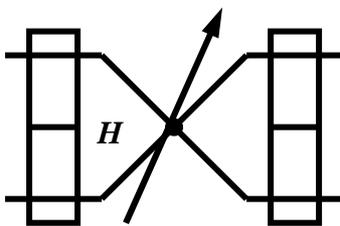
допускается стрелками указывать используемое направление ответвления



ответвитель двунаправленный

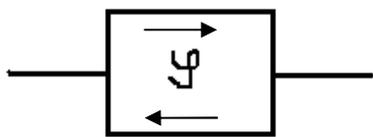


щелевой мост

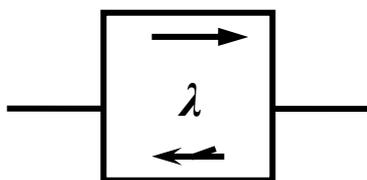
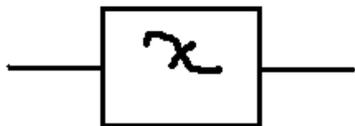
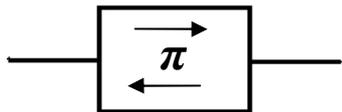
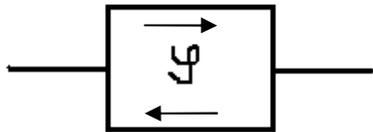


мост щелевой регулируемой

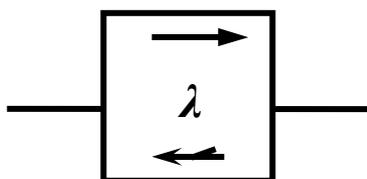
НЕВЗАИМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



$90^\circ/5^\circ$



$0.5 \text{ дБ}/20 \text{ дБ}$



фазовращатель

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Большая стрелка указывает направление большего сдвига фазы.

II. Допускается указывать величину сдвига фазы в прямом (числитель) и обратном (знаменатель) направлениях.

гиратор

фильтр частотный

общее обозначение

верхних частот

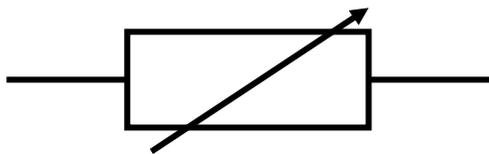
нижних частот

полосовой

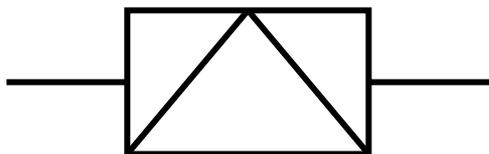
вентиль (невзаимный)

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Перечеркнутая стрелка указывает прямое направление (направление наименьшего затухания)

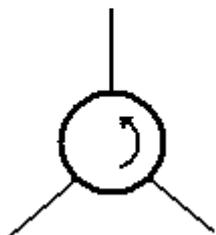
II. Допускается указывать величину затухания в прямом (числитель) и обратном (знаменатель) направлениях.



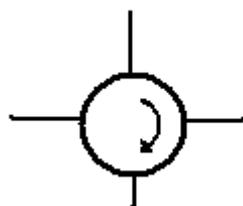
аттенуатор невзаимный регулируемый



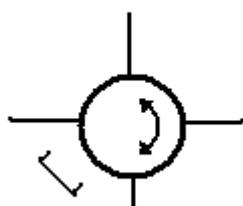
модулятор (общее обозначение)



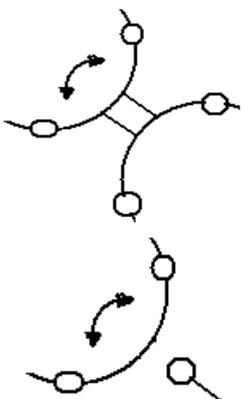
циркулятор трехплечий



циркулятор-восьмиполюсник



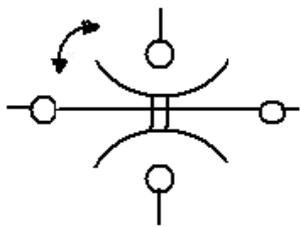
ПРИМЕЧАНИЕ: При необходимости указать тип магнитной системы рядом с изображением циркулятора, указывающего обозначение постоянного магнита или электромагнитной катушки.



Переключатель волноводный

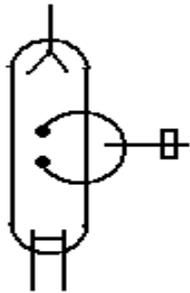
а) на два положения (шаг 90°)

б) на три положения (шаг 120°)

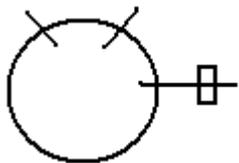


в) на четыре положения (шаг 45°)

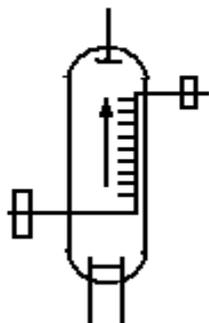
VIII. ПРИБОРЫ СВЧ.



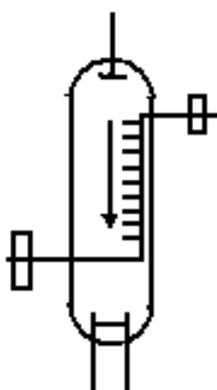
клистрон отражательный



магнетрон



ЛБВ



ЛОВ