

Б. Л. ВОЛОДИН, Ю. Е. НЕВСКИЙ, Л. В. СЕЛИВАНОВ
(Новосибирск)

ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОПОЛОСНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

При исследовании работы широкополосных диффузионных преобразователей большое значение имеет измерение их амплитудно-частотных характеристик (АЧХ). Поскольку стандартных измерителей АЧХ широкополосных диффузионных преобразователей не существует, а измерение АЧХ указанных преобразователей встречает определенные трудности, мы считаем целесообразным обсуждение этих вопросов в печати.

Амплитудно-частотная характеристика ультразвукового преобразователя (зависимость потерь двойного преобразования от частоты) определяется как

$$K(\omega) = -20 \lg (U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}), \quad (1)$$

где $U_{\text{вх}}$ — напряжение, подаваемое на преобразователь; $U_{\text{вых}}$ — напряжение, снимаемое с того же преобразователя в режиме приема. Так как напряжение $U_{\text{вых}}$ зависит от величины импеданса подключенной к преобразователю электрической нагрузки, то при измерениях АЧХ следует условиться о величине электрической нагрузки $Z_{\text{н}}$, подключаемой к преобразователю в режиме приема.

Мы приняли $Z_{\text{н}}$ состоящим из активного сопротивления $R_{\text{н}} = 50 \text{ ом}$, шунтированного емкостью 3 нф . Если известна АЧХ преобразователя $K_1(\omega)$ при нагрузке Z_1 , то АЧХ преобразователя при любой другой нагрузке Z_2 может быть вычислена по формуле

$$K_2(\omega) = K_1(\omega) + 20 \lg |(Z_1/Z_2) [(Z_2 + Z_{\text{пр}})/(Z_1 + Z_{\text{пр}})]|, \quad (2)$$

где $Z_{\text{пр}}$ — импеданс преобразователя.

При измерении АЧХ на преобразователь подается радиоимпульс напряжения $U_{\text{вх}}$. Этот импульс трансформируется в акустический. Акустический импульс распространяется в звукопроводе, отражается от свободного конца звукопровода и попадает опять на преобразователь, где трансформируется в электрический радиоимпульс напряжения $U_{\text{вых}}$. Выходной импульс задержан относительно входного на время распространения ультразвуковой волны в звукопроводе. При распространении ультразвуковой волны в звукопроводе происходит поглощение ее энергии. Величина поглощения пропорциональна времени задержки. Для того чтобы поглощение в звукопроводе не вносило большой ошибки в измерение АЧХ преобразователей, звукопровод должен выполняться из слабопоглощающего материала и иметь минимально возможное время

задержки. В процессе измерения АЧХ на вход приемного устройства подаются два сигнала, из которых первый больше второго (задержанного) на 40—60 дБ. При этом первый сигнал перегружает вход приемного устройства и требуется некоторое время для восстановления чувствительности приемного устройства. Это ограничивает минимально допустимое время задержки в звукопроводе. Требуется приемное устройство с малым временем восстановления чувствительности. Разработанный нами прибор позволяет вести измерения при задержке 3—4 мксек.

При измерении АЧХ преобразователей возможны два варианта акустической схемы (рис. 1). В схеме рис. 1, а пьезокристалл 1 с высокоомным диффузионным слоем 2 поджимается через склеивающий слой к звукопроводу 3 с акустическим волновым сопротивлением, близким к волновому сопротивлению материала преобразователя. В схеме рис. 1, б звукопровод и преобразователь выполнены на едином пьезокристалле. Как в первом, так и во втором случае электрический контакт с кристаллом осуществляется через напаянную индиевую акустическую нагрузку 4. Наличие склеивающего слоя в схеме рис. 1, а несколько искажает АЧХ преобразователя. Поэтому более предпочтительной является схема рис. 1, б.

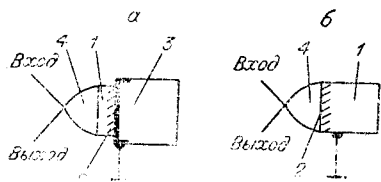


Рис. 1.

Принципиальная схема подключения исследуемого преобразователя к генератору и усилителю показана на рис. 2. На этой схеме R_r — внутреннее сопротивление генератора; R_n — входное сопротивление усилителя. Сопротивление R и емкость C обеспечивают слабую связь преобразователя с генератором. Импеданс соответствующего эквивалентного генератора обозначим через Z_r . Для того чтобы напряжение на входе усилителя равнялось напряжению на преобразователе, необходимо обеспечить минимальную длину проводников ab и cd и их минимальный импеданс, чтобы выполнялось неравенство $|Z_{ab} + Z_{cd}| \ll |Z_{np}|$.

Кроме того, необходимо согласование волнового сопротивления кабеля be с сопротивлением входа усилителя R_n . В режиме приема преобразователь нагружен на импеданс Z_n , состоящий из сопротивления R_n и емкости короткого отрезка кабеля между генератором и преобразователем. Параллельно Z_n подключен импеданс генератора Z_r . Для того чтобы влиянием цепи генератора в режиме приема можно было пренебречь, необходимо выполнение условия $Z_r \gg Z_n$. Это условие обеспечивается созданием слабой связи преобразователя с генератором.

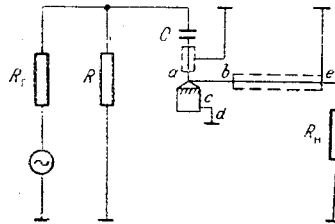


Рис. 2.

В соответствии с изложенными требованиями методики был сконструирован прибор для измерения АЧХ широкополосных ультразвуковых преобразователей, предназначенный для работы в измерительном стенде. Блок-схема прибора и стенда приведена на рис. 3. Прибор состоит из двух частей — генераторной и приемной. К генераторной части относятся модулятор и усилитель бегущей волны (УБВ). Модулятор представляет собой двухкаскадный аperiodический усилитель с последовательной высокочастотной коррекцией. Усилитель заперт по защитным сеткам отрицательным напряжением (—30 в). Лампы отпираются

прямоугольными импульсами положительной полярности с амплитудой 40—50 в, которые поступают с импульсного генератора типа 26-И. Коэффициент передачи модулятора в полосе частот 20—150 Мгц равен $K \approx 1$. Коэффициент подавления несущей между импульсами составляет $K_n = 40$ дб. Стробирование модулятора производится одновременно с модуляцией генератора типа Г4-44. В результате уровень фона между зондирующими импульсами лежит ниже этих импульсов на 90—100 дб. Нагрузкой последнего каскада модулятора служит волновое сопротив-

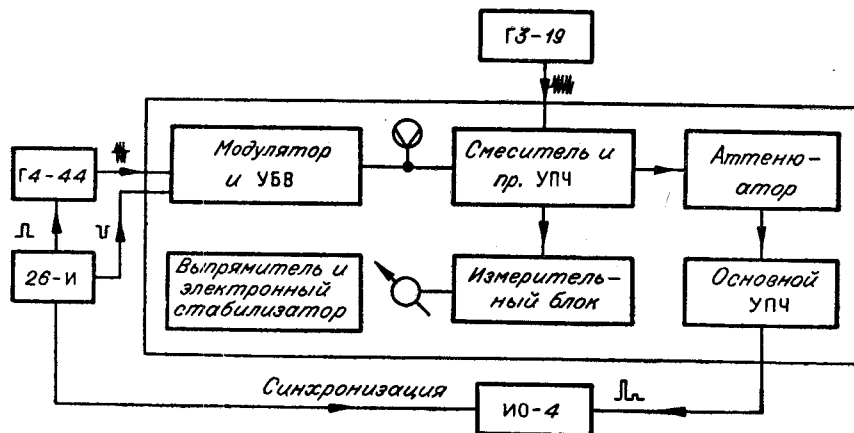


Рис. 3.

ление сеточной линии УБВ, который выполнен на пяти в. ч. пентодах типа 6Ж9П. Расчет УБВ и типовая принципиальная схема приведены в [1]. Анодная линия через емкость $C \leq 5$ пф слабо связывается с нагрузкой, которой является импеданс преобразователя $Z_{пр}$, шунтированный импедансом Z_n . Полоса пропускания УБВ не менее 20—150 Мгц. Коэффициент усиления совместно с модулятором равен 9—10.

Приемная часть представляет собой супергетеродинный приемник с нелинейным усилителем промежуточной частоты (УПЧ) и измерительным блоком. Динамический диапазон приемника 70 дб. Он равен коэффициенту усиления приемника и отсчитывается от уровня 0,1—0,2 в. Особенностью приемника является быстрое (3—4 мксек) восстановление чувствительности до номинальной с момента прекращения действия зондирующего радиопульса. Преобразование смесителя и усиление предварительного УПЧ близко к линейному для сигналов с амплитудой не более 0,2 в. Ошибка из-за амплитудной нелинейности этих каскадов в приборе не более $\pm 0,4$ дб и растет с увеличением амплитуды зондирующего импульса. Для контроля за амплитудой сигнала используется измерительный блок. Блок содержит: усилитель промежуточной частоты (промежуточная частота 10 Мгц), импульсный детектор, видеоусилитель, пиковый детектор и усилитель постоянного тока с выходом по мостовой схеме на индикатор (прибор типа М265). Индикатор градуирован по максимальному значению амплитуды зондирующего радиопульса (0,1 в) при длительности импульсов 1,5 мксек и частоте следования 1700 гц. Аттенюатор градуирован в децибелах на установке калибровки аттенюаторов типа УКА-1 на промежуточной частоте 10 Мгц. Погрешность изготовленного аттенюатора не превышает $\pm 0,3$ дб. Сигнал с аттенюатора поступает на основной нелинейный УПЧ (рис. 4).

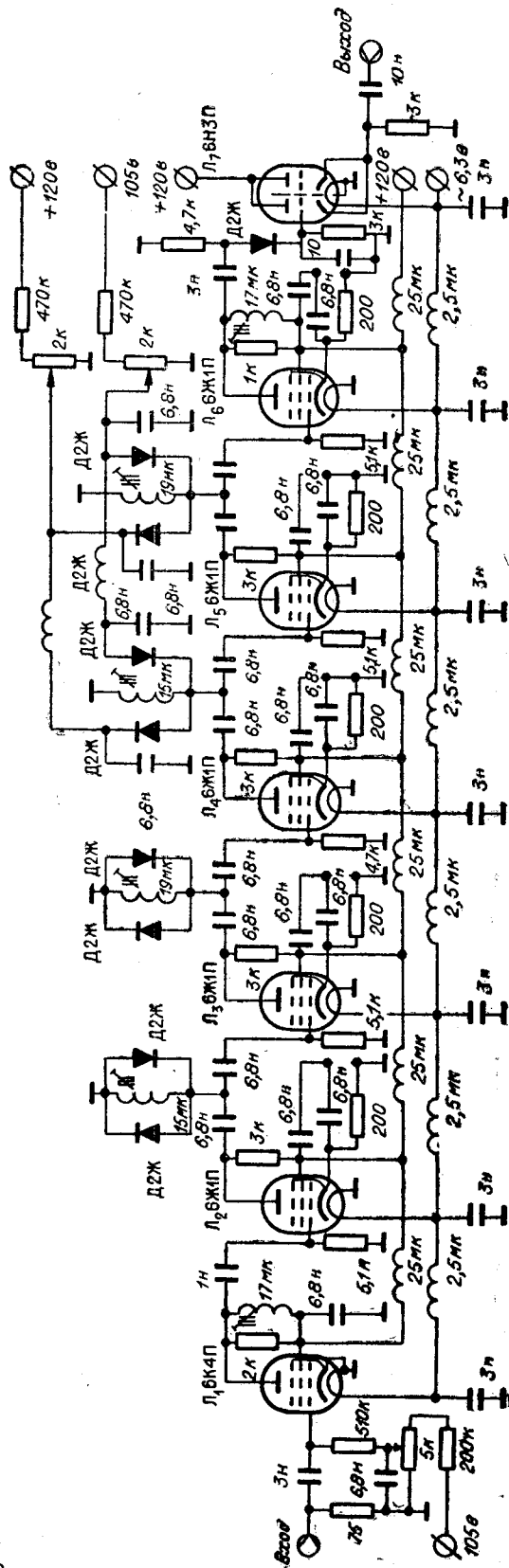


Рис. 4.

Обычный УПЧ перегружается сигналами, величина которых на 20—30 дБ превышает уровень собственных шумов. В данном приборе применен УПЧ, построенный по типу логарифмических резонансных усилителей с шунтированием анодной нагрузки нелинейными элементами [2, 3]. В качестве нелинейного элемента используется германиевый диод типа Д2Ж. Полоса пропускания УПЧ для слабого сигнала составляет 3 МГц. Динамическая характеристика УПЧ приведена на рис. 5. С целью уменьшения затягивания фронтов импульсов применен катодный повторитель. Сигнал с катодного повторителя поступает на импульсный осциллограф, на экране которого видны два сигнала: прямой (зондирующий) и отраженный. Измерение коэффициента передачи по соотношению (1) производится следующим образом. На экране осциллографа отмечается уровень амплитуды отраженного импульса и с помощью аттенюатора производится ослабление сигналов. Амплитуда прямого сигнала выравнивается до амплитуды, которую имел отраженный сигнал. Сумма показаний введенных ячеек аттенюатора является результатом измерения.

Разработанный прибор позволяет исследовать АЧХ широкополосных ультразвуковых преобразователей в диапазоне частот 30—150 МГц. Режим работы прибора импульсный. Длитель-

ность зондирующих радиопульсов 1—1,5 мксек. Время восстановления чувствительности 3—4 мксек. Максимальная погрешность (при максимально допустимых потерях двойного преобразования и максимальном значении рабочей частоты прибора) не превосходит $\pm 1,9$ дб.

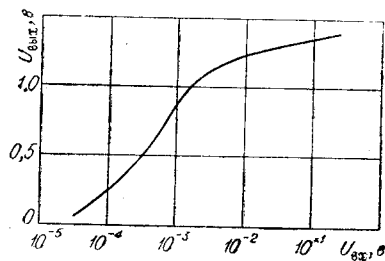


Рис. 5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Я. Шаниро. Усилители с распределенным усилением. М., «Связь», 1965.
2. В. М. Волков. Логарифмические усилители. Киев, ГИТЛ УССР, 1962.
3. А. П. Лукошкин. Радиолокационные усилители с большим диапазоном входных сигналов. М., «Советское радио», 1964.

Поступила в редакцию
14 мая 1969 г.,
окончательный вариант —
10 октября 1969 г.