

## Формирование уз луча, передача, прием и обработка сигналов.

### Формирователь луча

Эхо-сигналы, принятые датчиком и преобразованные им в электрические сигналы, поступают в электронный блок на вход формирователя луча. Основное его назначение, как следует из названия, - обеспечивать необходимую форму УЗ луча на передачу и прием. Формирователь луча - это многоканальное устройство, соединенное с датчиком кабелем с большим числом проводов (их называют жилами) в соответствии с общим числом элементов пьезопреобразователя. Количество элементов в пьезопреобразователе в зависимости от сложности прибора может меняться для датчиков электронного сканирования в диапазоне от 80 до 512 и выше, таким же будет число соединительных проводов.

На входе формирователя луча стоит **коммутатор**, в котором из большого числа проводов выбирается, как правило, меньшее количество, равное числу каналов приемника и передатчика. Наиболее часто встречающиеся комбинации числа каналов приемопередатчика и элементов пьезопреобразователя даны в табл. 2.

В каналах формирователя луча осуществляется **фокусировка** на прием путем выставления определенных значений задержек сигналов в каждом из каналов.

Коммутатор на входе формирователя выполняет роль устройства, обеспечивающего сканирование (перемещение) УЗ луча в датчиках линейного и конвексного типа. Сканирование осуществляется по сигналам устройства управления сканированием.

Передатчик, генерирующий сигналы для излучения внутрь исследуемого тела, является многоканальным устройством, которое по каждому из каналов должно передавать на формирователь луча короткие электрические импульсы. Основные задачи, выполняемые передатчиком:

- генерировать импульсы как можно меньшей длительности (чем короче импульс, тем лучше продольная разрешающая способность прибора);
- обеспечивать амплитуду импульсов необходимого уровня (чем выше амплитуда, тем выше чувствительность), но не более допустимого с точки зрения безопасности пациента;
- осуществлять сдвиг по задержке между импульсами с тем, чтобы был сформирован УЗ луч на передачу с требуемым фокусом;
- изменять рабочую частоту импульсов (3,5; 5; 7,5; 10 МГц) в зависимости от выбранного типа датчика.

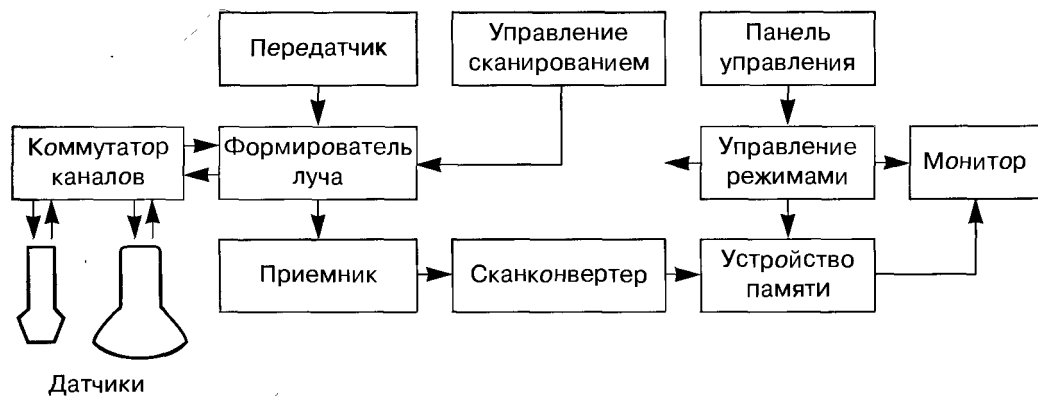
### Приемник

Приемник, который получает от формирователя луча эхо-сигналы по многим каналам одновременно, должен

усиливать эти сигналы, подвергать их определенным преобразованиям, суммировать сигналы всех каналов и подавать суммарный сигнал на сканконвертер.

Эхо-сигналы усиливаются в приемнике в 1000-100000 раз по амплитуде (60-100 дБ). Усиление может изменяться по желанию исследователя с помощью ручки **общее усиление**, или просто **усиление (Gain)** на клавиатуре прибора.

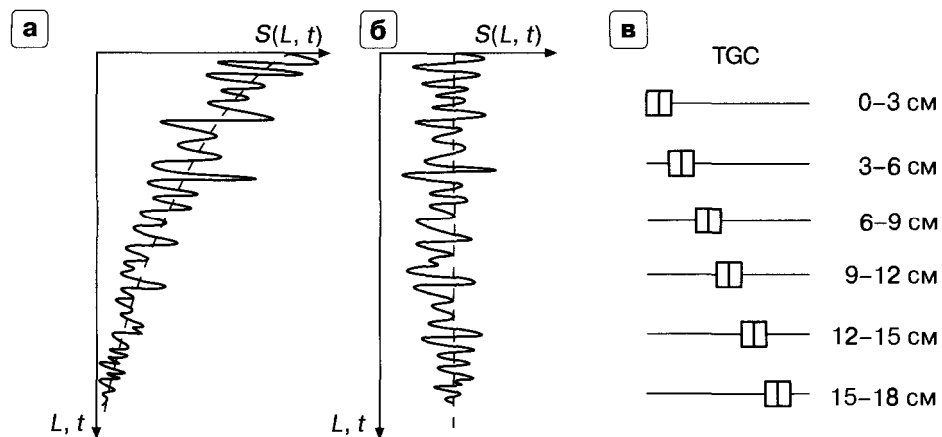
Кроме общего усиления сигналов во всех современных приборах имеется возможность регулировки **усиления по зонам глубины (TGC - time gain control, или DGC - depth gain compensation)**. Основное назначение этих регулировок - компенсировать затухание в различных зонах глубины в зависимости от свойств обследуемой области. Уровень принимаемых эхо-сигналов вследствие затухания существенно уменьшается с глубиной - например, уровень сигнала, получаемого от отражателя (неоднородности) на глубине 10 см, может быть в 1000 раз меньше по амплитуде, чем уровень сигнала от того же отражателя на глубине 1 см.



**Рис. 7.** Структурная схема электронного блока ультразвукового диагностического сканера.

На рис. 8а показан типичный характер изменения уровня эхо-сигналов в зависимости от глубины  $L$  (или, что то же самое, времени прихода эхо-сигналов  $t$ ). Если не предпринимать никаких мер, то на малых глубинах яркость изображения будет очень большой, в средней зоне она будет уменьшаться, а на больших глубинах будет совсем низкой. Все это существенно ухудшает качество изображения.

Поэтому в приемнике осуществляется регулировка усиления в зависимости от глубины: чем больше глубина, тем больше усиление. Правильная регулировка обеспечивает компенсацию затухания сигнала в зависимости от глубины таким образом, чтобы максимальные уровни амплитуд эхо-сигналов были примерно одинаковы во всем диапазоне глубин (рис. 8б). В этом случае обеспечивается равномерность яркости изображения и высокая диагностическая информативность на всех глубинах.



У различных объектов исследования реальный характер изменения затухания с глубиной может сильно отличаться друг от друга. Еще одна функция приемника - **сжатие и регулировка динамического диапазона** эхо-сигналов, определяющего отношение максимального и минимального сигналов. В разделе 3.1 было дано пояснение понятия динамического диапазона. Типичный динамический диапазон эхо-сигналов на входе приемника - 120 дБ, т.е. амплитуда максимального эхо-сигнала в миллион раз больше амплитуды минимального. В то же время динамический диапазон сигналов, которые могут одновременно отображаться на экране прибора (например, в мониторе телевизионного типа), составляет всего 35-40 дБ, т.е. 60-100 раз по амплитуде. Изменение диапазона рабочих частот - еще одна функция приемника. Каждый прибор должен работать с набором датчиков, имеющим различные частоты (например, 3,5; 5,0 и 7,5 МГц). Поэтому диапазон частот приема необходимо изменять при переключении прибора на работу с датчиком. по мере прохождения излучаемого сигнала вглубь его центральная

частота смещается в сторону более низких частот. Так, при излучении сигнала с частотой 3,5 МГц эхо-сигнал с глубины 12 см может иметь сдвиг центральной частоты до величины 2,5 МГц. Для того чтобы обеспечить наилучшие условия выделения полезного сигнала на фоне шумов, в приемнике осуществляется подстройка частоты приема с глубиной в соответствии с ожидаемым сдвигом частоты эхо-сигналов.

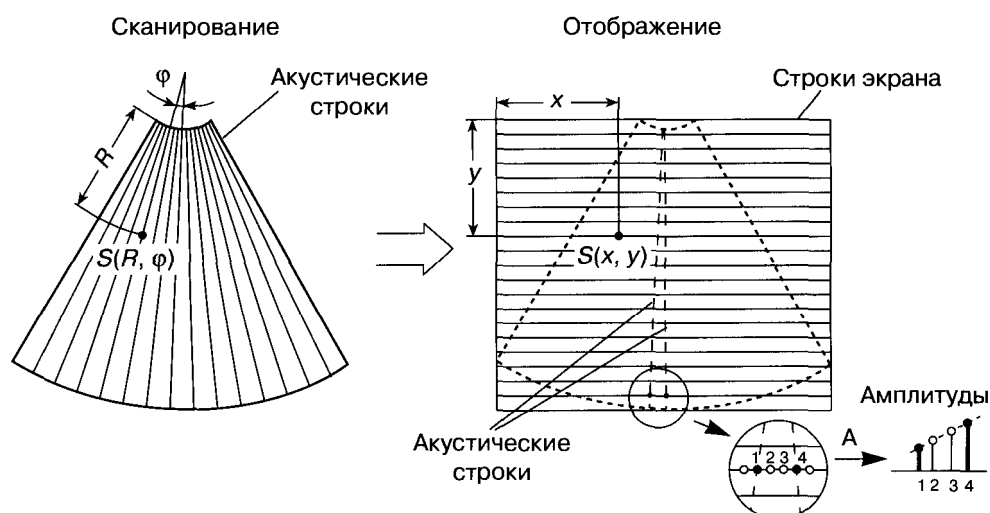
В завершение рассмотрения функций приемника следует сказать о том, что в приборах простого и среднего класса используется традиционный аналоговый приемник, в котором сигналы на всех этапах преобразования имеют аналоговую форму (т.е. форму непрерывной зависимости от времени). В сложных и дорогих приборах высокого класса все чаще используется **цифровой приемник** (digital receiver), в котором уже на входе сигналы преобразуются в цифровую форму с помощью аналого-цифрового преобразователя. Вся обработка сигналов в таком приемнике (усиление, сжатие динамического диапазона, регулировка усиления и изменение диапазона частот) осуществляется в цифровом виде, что обеспечивает большую гибкость управления и высокую надежность и стабильность характеристик приемника.

### **Сканконвертер**

Сканконвертер - это цифровое устройство, которое служит для преобразования информации, получаемой в процессе сканирования с выхода приемника, в форму, наиболее удобную для отображения на экране прибора. В процессе сканирования прием сигналов идет в области УЗ луча, т.е. вдоль акустических строк. При этом измеряются полярные координаты каждого сигнала - глубина  $R$  и угол  $\phi$ , а также амплитуда сигнала  $S$  (рис. 11).

Отображение на экране прибора осуществляется в декартовой (прямоугольной) системе координат обычно в соответствии с телевизионным стандартом. Поэтому координаты каждого полезного сигнала должны быть пересчитаны из координат ( $R$ ,  $\phi$ ) в координаты ( $x$ ,  $y$ ). Это и делает сканконвертер, сохраняя для отображения амплитуду сигнала (в цифровом виде).

Кроме того, сканконвертер заполняет пустые элементы изображения, т.е. те, в которых нет информации об амплитуде. Такие ситуации имеют место на средних и больших глубинах, когда оси лучей расходятся достаточно далеко друг от друга при конвекс-ном и фазированном сканировании. На рис. 11 в выделенном и увеличенном кружке А показаны пустые элементы изображения 2 и 3 между элементами 1 и 4, расположенными на осях лучей и по этой причине имеющими измерения амплитуд сигналов. Чтобы изображение воспринималось слитно, без пустот, элементам 2 и 3 приписываются амплитуды, вычисленные на основе известных амплитуд в точках 1 и 4 с помощью линейной интерполяции.



**Рис. 11.** Преобразование информации из полярной в декартову систему координат в скан-конвертере. А – понятие об интерполяции: расчет амплитуд в точках 2 и 3 по значениям амплитуд в точках 1 и 4.

### Устройство памяти

С выхода сканконвертера информация, подготовленная для отображения, поступает в цифровое устройство памяти (рис. 12), где записывается в том темпе, с которым происходит сканирование. С выхода устройства памяти информация считывается в том темпе (отличном от темпа сканирования), который необходим для получения изображения в телевизионном стандарте (см. рис. 12). С каждым новым циклом сканирования происходит запись нового кадра за счет вытеснения информации полученного ранее кадра.

Память строится по многостраничному принципу, причем в каждой странице хранится информация, соответствующая одному кадру, т.е. полученная в результате одного цикла сканирования. Обычно в одной странице памяти содержится  $512 \times 512$  элементов изображения, в каждом из которых фиксируется в двоичном коде амплитуда сигнала. Количество разрядов для амплитуды - 7 или чаще 8, что соответствует 128 или 256 градациям яркости (градациям серого) при отображении. В приборах высокого класса память на кадр может иметь  $1024 \times 512$  и более элементов.

В памяти хранится не менее 2-4 последних кадров. По желанию оператора можно «заморозить» последний кадр изображения, т.е. остановить сканирование и непрерывно считывать и отображать последний кадр на дисплее.

В приборах среднего и высокого класса число запоминаемых кадров может составлять несколько десятков, и оператор может находить нужные ему кадры, перелистывая страницы памяти.