

УХО КАК АНАЛИЗАТОР МГНОВЕННОЙ ЧАСТОТЫ

Н. Ф. КУЧЕР

(Представлена научным семинаром
кафедры вычислительной техники)

Проблеме обработки звуковой информации ухом человека посвящено в настоящее время большое количество работ. Фундаментальной работой в этой области является монография Бекеша [1], посвященная физическому исследованию слухового аппарата человека. Одним из основных параметров слухового анализатора человека являются амплитудно-частотные и координатно-частотные характеристики базилярной мембраны улитки, показанные на рис. 1.

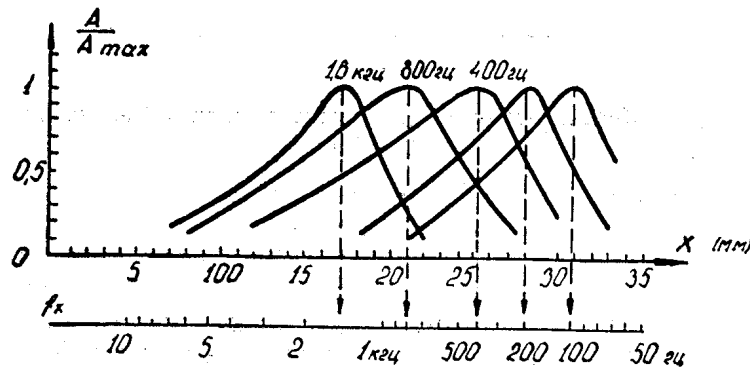


Рис. 1. Амплитудно-частотная и координатно-частотная характеристики базилярной мембраны

Как видно из рис. 1, базилярная мембрана представляет собой набор резонаторов с малой добротностью, расположенных по длине улитки, причем расстояние от стремечка до точки мембраны с наибольшей амплитудой колебаний, определяет частоту резонатора. Считают [2], что с помощью базилярной мембраны человек производит спектральный анализ звукового сигнала, причем с помощью нейронов производится увеличение добротности резонаторов мембраны.

Представим звуковой сигнал в виде функции времени

$$u(t) = A(t) \cos \varphi(t),$$

где:

$A(t)$ — огибающая амплитуды звукового сигнала

$\omega(t) = \varphi'(t)$ — огибающая мгновенной частоты звукового сигнала.

В работах [3] и [4] показано, что речевой сигнал не теряет разборчивости даже при уничтожении огибающей $A(t)$, то есть речевой сигнал принимает вид:

$$u_1(t) = \text{sign} \cos \varphi(t) \text{ — клипированная речь;}$$

$$u_2(t) = \cos \varphi(t) \text{ — компрессированная речь.}$$

Следовательно, подавляющая часть информации о звуке заложена в изменении функции $\omega(t) = \varphi'(t)$, то есть в изменении мгновенной частоты сигнала. Слуховой аппарат человека, по-видимому, анализирует в первую очередь мгновенную частоту звукового сигнала $u(t)$.

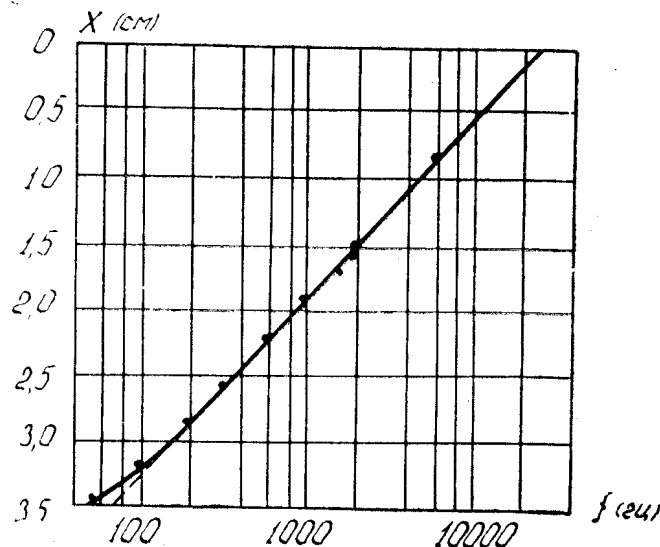


Рис. 2. Координатно-частотная характеристика базилярной мембраны

Если посмотреть на рис. 1, можно заметить, что максимумы резонансов базилярной мембраны и расстояние от стремечка до точки мембраны с наибольшей амплитудой колебаний связаны между собой приблизительно линейной зависимостью. В работе [5] имеется график, приведенный на рис. 2, связывающий между собой расстояние X от стремечка до точки мембраны с наибольшей амплитудой колебаний, и частоту возбуждающих колебаний. Эта зависимость является линейной. Следовательно, передаточная функция уха на уровне базилярной мембраны $k\omega = c\omega$, то есть линейно зависит от частоты. Четырехполюсник с такой передаточной функцией является идеальным дифференцирующим звеном.

Поэтому сигнал $u(t) = \cos \varphi(t)$ анализируется ухом так, чтобы выделялось изменение его мгновенной частоты:

$$[u(t)]' = [\cos \varphi(t)]' = -\omega(t) \sin \varphi(t).$$

Координаты точек возбуждения базилярной мембраны, соответствующие мгновенной частоте возбуждающего сигнала, считываются слуховым нервом и передаются в мозг для дальнейшего анализа.

Приведенная модель слухового анализатора достаточно хорошо объясняет и низкую добротность резонаторов базилярной мембраны, которая обусловлена тем, что искажения из-за переходных процессов при воздействии на улитку сигнала с переменной частотой, в резонаторе с

малой добротностью минимальны. Тем не менее, координата точки наибольшего возбуждения базилярной мембраны точно пропорциональна частоте возбуждающего звукового сигнала. Спектральный же анализ резонаторами с малой добротностью проводится весьма грубо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Békésy G. „Experiments in hearing“ New Lork, 1960.
2. В. К. Лабутин, А. П. Молчанов. Слух и анализ сигналов, «Энергия», М.-Л., 1967.
3. Ю. Г. Ростовцев. О возможностях применения в системах связи амплитудного ограничения речевых сигналов. Электросвязь, № 6, 1958.
4. П. Марку, Дж. Дагэ. Новые методы передачи речи. В сб. Теория передачи сообщений, п/р В. И. Сифорова, ИЛ, М., 1957.
5. H. Fletcher „On the Dynamics of the Cochlea“ JASA 1951, v. 23, p. 637.