

**И.А. Алдошина**

**Высококачественные акустические системы  
и излучатели**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 621.39  
ББК 32  
И11

И11 **И.А. Алдошина**  
Высококачественные акустические системы и излучатели / И.А. Алдошина – М.: Книга по Требованию, 2023. – 168 с.

**ISBN 978-5-458-28714-2**

Приведены методы расчета и проектирования акустических систем категории Hi—Fi и их основных элементов: корпусов, фильтров, излучателей. Описаны методы измерений основных видов искажений в акустических системах. Даны перспективы развития акустических систем категории HI-FI. Для инженерно-технических работников, специализирующихся в области электроакустики и звуковоспроизведения.

**ISBN 978-5-458-28714-2**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2023  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



структуру. Правда, характер этого искажения не зависит от уровня сигнала [1.6].

Если к исследованию объективных параметров АС применить общие принципы анализа линейных электрических цепей, т. е. рассматривать как линейную, инвариантную во времени систему, у которой импульсная характеристика  $g(t)^*$  и комплексная передаточная функция  $H(j\omega)^{**}$  связаны преобразованием Фурье [1.7]:

$$H(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt, \quad g(t) = (1/2\pi) \int_{-\infty}^{\infty} H(j\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1.1), (1.2)$$

то условие неискаженной передачи сигнала во временной области (допускающее только изменение сигнала в масштабе и задержку во времени, при сохранении его формы):

$$y(t) = K x(t-T), \quad (1.3)$$

где  $K$  — постоянная,  $x(t)$  — входной сигнал,  $y(t)$  — выходной сигнал, с помощью интеграла свертки

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\tau) x(t-\tau) d\tau$$

и преобразования Фурье (1.1); (1.2), приводится в частотной области к условию следующего вида:

$$H(j\omega) = K \exp(-j\omega T). \quad (1.4)$$

Так как комплексная передаточная функция может быть выражена в форме

$$H(j\omega) = |H(j\omega)| \exp[j\varphi(\omega)], \quad (1.5)$$

где модуль  $|H(j\omega)|$  называется амплитудно-частотной характеристикой системы — АЧХ (в практике проектирования АС обычно под АЧХ понимается  $20 \lg |H(j\omega)|$ ), а аргумент  $\varphi(\omega)$  — фазочастотной характеристикой системы (ФЧХ), то для выполнения условия неискаженной передачи сигнала (1.4) необходимо постоянство модуля  $H(j\omega)$ , т. е. АЧХ:

$$|H(j\omega)| = K, \quad (1.6)$$

и пропорциональность частоте аргумента  $H(j\omega)$ , т. е. ФЧХ

$$\varphi(\omega) = -\omega T. \quad (1.7)$$

Несоответствие АЧХ и ФЧХ реальных АС условиям (1.6) и (1.7) и обуславливается наличием линейных искажений: амплитудно-частотных и фазочастотных.

\* Импульсной характеристикой системы называется функция  $g(t)$ , являющаяся откликом системы на воздействие единичной импульсной функции  $\delta(t)$  при нулевых начальных условиях.

\*\* Передаточной функцией  $H(j\omega)$  называется частотно-зависимое отношение комплексных амплитуд сигнала на выходе и входе системы при гармонических воздействиях.

Следует отметить, что для неискаженной передачи сигнала условия (1.6) и (1.7) должны выполняться в частотном диапазоне  $(-\infty, +\infty)$ , однако поскольку любые АС имеют ограниченный воспроизводимый диапазон частот, то даже в лучших моделях АС, где отклонения АЧХ и ФЧХ от требований (1.6) и (1.7) внутри воспроизводимого диапазона минимальны, имеют место линейные искажения, которые искажают временную форму сигнала.

### Амплитудно-частотные искажения

Амплитудно-частотные искажения (которые, как было сказано, определяются по отклонению АЧХ от постоянного значения  $K$  как внутри, так и на краях воспроизводимого частотного диапазона) на протяжении всего периода развития техники производства АС считались и продолжают оставаться основным критерием их качества. В значительной степени это объясняется тем, что амплитудно-частотные искажения субъективно воспринимаются как искажения тембра звучания, к которым слух очень чувствителен. Поэтому методики измерений АЧХ детально разработаны и введены практически во все отечественные и международные стандарты [1.1... 1.5]. Поскольку эти же методики используют и в практике проектирования АС категории  $N_i-F_i$ , остановимся очень кратко на их основных положениях. Обычно АЧХ измеряют в звукомерных заглушенных камерах, реализующих условия свободного поля. Структурная схема измерений представлена на рис. 1.1: сигнал

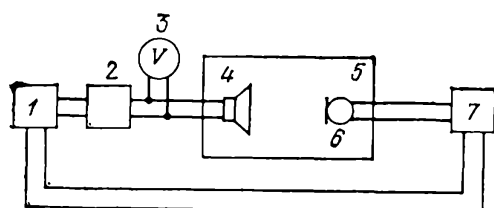


Рис. 1.1. Структурная схема измерений АЧХ

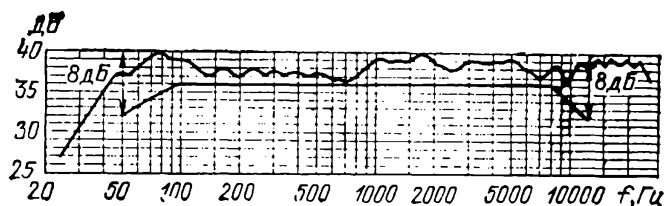


Рис. 1.2. Амплитудно-частотная характеристика АС

от генератора, входящего в установку автоматической записи 1 через усилитель мощности 2 подается на испытуемую АС 4, установленную в заглушенной камере 5. Контроль подаваемого напряжения осуществляется вольтметром 3. Создаваемое АС звуковое давление измеряется микрофоном 6, затем сигнал, пропорциональный звуковому давлению, поступает на вход микрофонного усилителя 7, и далее записывается на установке 1, куда входит логарифмический усилитель и самописец. Обычно АЧХ представляют в графической форме, в виде зависимости уровня звукового давления от частоты в логарифмическом масштабе (рис. 1.2). Под уровнем звукового давления понимается отношение измеренного значения модуля звукового давления к значению  $2 \cdot 10^{-5}$  Па, выраженное в децибелах. В качестве испытательного используется синусоидаль-

ный сигнал, запись производится в режиме постоянства напряжения, микрофон устанавливается на рабочей оси АС на расстоянии не менее 1 м [1.1]. Кроме того, АЧХ может измеряться и на шумовом сигнале [1.1].

По записанной вышеуказанным образом АЧХ можно рассчитать целый ряд параметров, позволяющих количественно оценить амплитудно-частотные искажения в АС, например:

*неравномерность АЧХ* — отношение максимального значения звукового давления к минимальному [1.1] или отношение максимального (минимального) значения к среднему [1.5] в заданном диапазоне частот, выраженное в децибелах. В рекомендациях МЭК 581—7, определяющих минимальные требования к аппаратуре  $N_i$ — $F_i$ , указывается, что неравномерность АЧХ не должна превышать  $\pm 4$  дБ в диапазоне 100 ... 8000 Гц (см. рис. 1.2). В лучших моделях АС категории  $N_i$ — $F_i$  достигнут уровень  $\pm 2$  дБ;

*эффективно воспроизводимый диапазон частот* — диапазон, в пределах которого уровень звукового давления понижается на некоторую заданную величину по отношению к уровню, усредненному в определенной полосе частот. В рекомендациях МЭК 581—7 минимальные требования по этому параметру составляют 50 ... 12 500 Гц при спаде 8 дБ по отношению к уровню, усредненному в полосе частот 100 ... 8000 Гц (см. рис. 1.2);

*характеристическая чувствительность АС* — отношение среднего звукового давления, развиваемого АС в заданном диапазоне частот (обычно 100 ... 8000 Гц) на рабочей оси, приведенное к расстоянию 1 м и подводимой электрической мощности 1 Вт. В большинстве моделей АС категории  $N_i$ — $F_i$  уровень характеристической чувствительности составляет 86—90 дБ (в технической литературе он часто записывается в виде 86 дБ/м/Вт). В последние годы появились высококачественные широкополосные АС с высокой чувствительностью 93 — 95 дБ/м/Вт.

Поскольку идентичность АЧХ в стереопарах очень важна для локализации стереообраза, в аппаратуре  $N_i$ — $F_i$  нормируется допустимое расхождение АЧХ в АС, используемых в стереопаре, оно не должно превышать 2 дБ при сравнении уровня  $P_{ср}$ , усредненного в одинаковых октавах в диапазоне 250 ... 8000 Гц.

Аналізу слышимости амплитудно-частотных искажений посвящены многочисленные исследования [1.8], позволившие установить качественную связь изменения амплитудного спектра сигнала с изменением его тембральной окраски. Измерения чувствительности слуха к отдельным пикам и провалам в спектре белого шума и естественных сигналов [1.8] ... [1.10] показали, что пороговая величина воспринимаемых неравномерностей в среднем составляет 2 дБ; чувствительность к обнаружению пиков значительно выше, чем к обнаружению провалов, причем уровень этой чувствительности зависит от ширины (добротности) пика-провала и местоположения его на спектральной огибающей прослушиваемого сигнала (легче всего обнаруживаются нерегулярности, находящиеся вблизи максимума на спектральной огибающей сигнала). Пороги слухо-

вой чувствительности к пикам разной добротности показаны на рис. 1.3 [1.10] ... [1.12]. Чувствительность слуха к спектральным нерегулярностям максимальна в области 500 ... 3000 Гц.

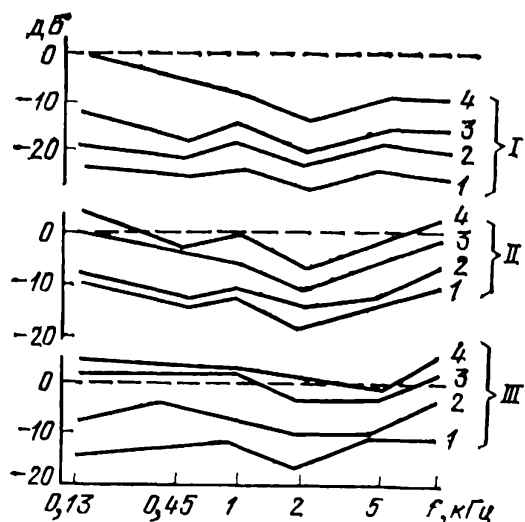


Рис. 1.3. Пороговые уровни пиков АЧХ для разных значений добротности:

1 —  $Q=1$ , 2 —  $Q=5$ , 3 —  $Q=10$ , 4 —  $Q=50$   
и разных видов программ:  
I — шум, II — классическая музыка,  
III — эстрадная музыка

Серьезное внимание в технике Hi-Fi, особенно в связи с внедрением цифровой обработки в звукопередающий тракт, уделяется вопросам субъективного восприятия амплитудно-частотных искажений за счет ограничения воспроизводимого диапазона частот. В ряде моделей АС категории Hi-Fi диапазон частот равен 20 ... 40 000 Гц (в среднем он составляет 35 ... 20 000 Гц), вопрос о необходимости его дальнейшего расширения в области как низких, так и высоких частот связан со значительными техническими трудностями и требует детального анализа. В некоторых работах показано, что расширение диапазона за пределы 20 ... 20 000 Гц необходимо, так как оно уменьшает время установления переход-

ных процессов, снижает уровень интермодуляционных искажений в слышимой области, улучшает чистоту и прозрачность звучания. В то же время имеются исследования [1.12], доказывающие, что расширение полосы за пределы 20 ... 20 000 Гц субъективно не воспринимается на реальных программах. Существенное значение для субъективного восприятия имеет и характер спада АЧХ на границах диапазона [1.13]. Таким образом, вопрос об установлении субъективных порогов слышимости различных видов амплитудно-частотных искажений является чрезвычайно важным для дальнейшего развития техники АС категории Hi-Fi и находится в стадии интенсивного исследования.

### Фазочастотные искажения

Как было отмечено выше, критерием фазочастотных искажений в АС служит степень отклонения ее ФЧХ  $\varphi(\omega)$  от прямой, проходящей через начало координат, т. е. несоблюдение условия (1.7). Системы, в которых выполняется условие (1.7), называют системами с линейной фазовой характеристикой. Как следует из (1.1), (1.2) для описания временной структуры сигнала необходимы данные как об АЧХ, так и о ФЧХ системы. Однако на протяжении всего периода развития АС фазочастотные характеристики практически не измерялись и не нормировались. В значительной степени это объясняется тем, что еще со времен Гельмгольца существовало мнение о «фазовой глухоте» слуха, а кроме того, в ряде работ вы-



сказывались соображения о том, что акустические системы относятся к минимально-фазовым системам, в которых АЧХ и ФЧХ однозначно связаны через преобразование Гильберта:

$$\varphi_{\text{м}}(\omega) = 1/\pi \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\ln |H(j\omega')|}{\omega' - \omega} d\omega', \quad (1.8)$$

и, следовательно, измерений АЧХ достаточно для определения ФЧХ. Современная измерительная техника, включающая обработку данных на ЭВМ [1.14], позволяет производить непрерывную запись  $\varphi(\omega)$  и расчет  $\varphi_{\text{м}}(\omega)$  из измеренной АЧХ по формуле (1.8). Сравнение этих результатов для большого числа АС показало, что они не относятся к классу систем с минимальной фазовой характеристикой (рис. 1.4), и поэтому измерение и нормирование ФЧХ в АС является необходимым. Фазочастотная характеристика (или фазовый сдвиг) в АС может быть представлена в виде

$$\varphi(\omega) = \varphi_{\text{м}}(\omega) + \varphi_{\text{н}}(\omega), \quad (1.9)$$

где  $\varphi_{\text{м}}(\omega)$  — минимально-фазовая часть ФЧХ, определяемая из АЧХ по формуле (1.8);  $\varphi_{\text{н}}(\omega)$  — неминимально-фазовая часть, которая в свою очередь может быть представлена как

$$\varphi_{\text{н}}(\omega) = \varphi_{\text{а}}(\omega) - \omega T + \varphi_0, \quad (1.10)$$

где  $\omega T$  — фазовый сдвиг из-за задержки сигнала на время  $T$  при прохождении через систему,  $\varphi_0$  — частотно-независимый фазовый сдвиг, вызванный, например, инвертированием полярности громко-

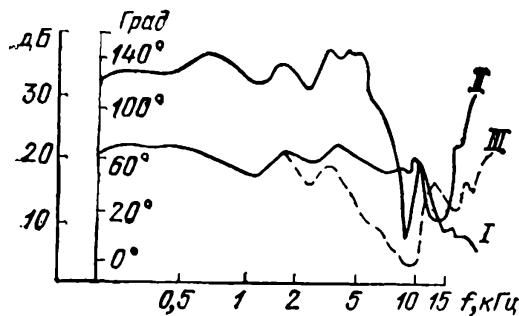


Рис. 1.4. Характеристики АЧХ (I) и ФЧХ (II) — рассчитанная, III — измеренная

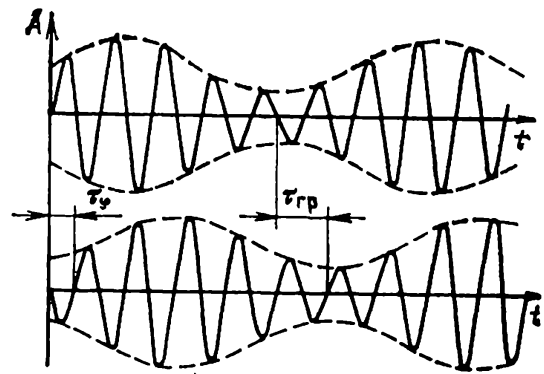


Рис. 1.5. Фазовая задержка  $\tau_{\varphi}$  и групповая задержка  $\tau_{гр}$

говорителей в АС,  $\varphi_{\text{а}}(\omega)$  — частотно-зависимый фазовый сдвиг, обусловленный всепропускающими неминимально-фазовыми свойствами системы, при этом  $\varphi_{\text{а}}(0) = 0$ . Для оценки фазовых искажений в АС обычно используют выражения фазовой задержки

$$\tau_{\varphi}(\omega) = -\varphi(\omega)/\omega$$

и группового времени задержки (ГВЗ)

$$\tau_{гр}(\omega) = -d\varphi(\omega)/d\omega. \quad (1.11)$$

Разница между  $\tau_\phi$  и  $\tau_{гр}^*$  для амплитудно-модулированного сигнала показана на рис. 1.5.

Необходимым условием отсутствия фазовых искажений в системе является  $\tau_\phi = T$  и  $\tau_{гр} = T$  (где  $T \geq 0$ ).

Если в (1.11) подставить (1.9) и (1.10), то получим:

$$\tau_{гр}(\omega) = T - d\varphi_m(\omega)/d\omega - d\varphi_a(\omega)/d\omega = T + \tau_m(\omega) + \tau_a(\omega).$$

Если ввести понятие «искажения группового времени задержки», как  $\Delta\tau_{гр}(\omega) = \tau_{гр}(\omega) - T$ , то условие отсутствия такого типа искажений в АС может быть представлено в виде:

$$\Delta\tau_{гр}(\omega) = 0. \quad (1.12)$$

Условие (1.12) в основном и используется в современной технике АС категории Hi-Fi по причинам, о которых будет сказано ниже. Следует отметить, что в реальных конструкциях АС нет необходимости строгого соблюдения  $\Delta\tau_{гр}(\omega) = 0$ , достаточно, чтобы в воспроизводимом диапазоне  $\Delta\tau_{гр}(\omega) < \tau_c(\omega)$ , где  $\tau_c(\omega)$  — частотно-зависимый дифференциальный порог слышимости искажений ГВЗ.

Необходимо отметить, что условие (1.12) является необходимым, но недостаточным для полного отсутствия фазовых искажений в АС, так как даже в отсутствие искажений ГВЗ в АС могут быть постоянные фазовые сдвиги за счет  $\varphi(0) = \varphi_m(0) + \varphi_0 \neq 0$ . При этом условие (1.7) не выполняется, так как прямая  $\varphi(\omega)$  не проходит через начало координат

Методика измерений ФЧХ начала широко использоваться сравнительно недавно (с момента выпуска серийной аппаратуры фирмой В&К фазометра 2971 и линии задержки 6202) и еще не вошла

в рекомендации МЭК, хотя широко используется как в зарубежной, так и в отечественной практике разработок АС. Структурная схема измерений ФЧХ показана на рис. 1.6. Сигнал от генератора 1 подается на усилитель мощности 2 (контроль напряжения осуществляется вольтметром 3) и измеряемую АС 4, размещенную в заглушенной камере 5. На вход А фазометра 10 подается сигнал с зажимов АС через линию задержки 11, на

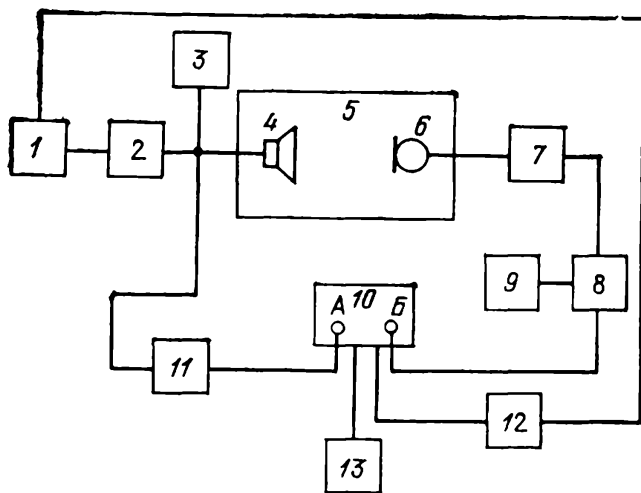


Рис. 1.6. Структурная схема измерений ФЧХ

\* Физическое различие  $\tau_{гр}$  и  $\tau_\phi$  состоит в том, что  $\tau_{гр}$  характеризует время прохождения максимума (минимума) энергии сигнала через систему, а  $\tau_\phi$  — опережение (отставание) по фазе отдельных составляющих сигнала.

другой вход  $B$  сигнал поступает с выхода микрофона 6, микрофонного усилителя 7, измерительного усилителя 8 с сопровождающим фильтром 9. Линия задержки 11 позволяет компенсировать линейный фазовый набег за время прохождения сигнала от АС до микрофона. В фазометре имеется выход на самописец 12 и перфоратор 13 для ввода данных в ЭВМ. Образец записи ФЧХ для АС показан на рис. 1.4. Усредненные значения искажений ГВЗ (вычисленные из измеренной ФЧХ методом численного дифференцирования) для АС различных типов лежат в пределах [1.15]:

- 5 ... +15 мс в диапазоне 40 ... 80 Гц;
- 1,5 ... +3 мс — 80 ... 160 Гц;
- 1,0 ... +2,5 мс — 160 ... 1000 Гц;
- 0,5 ... +1,5 мс — 1000 ... 20 000 Гц.

Основными причинами фазовых искажений в АС являются сложный диспергирующий характер колебательных процессов в подвижных системах громкоговорителей, частотно-зависимые фазовые сдвиги в разделительных фильтрах, фазовые сдвиги из-за пространственного распределения громкоговорителей в корпусе АС и т. д.

Вопросы установления субъективных дифференциальных порогов слышимости фазовых искажений на протяжении многих лет служили предметом активных дискуссий в литературе. Многочисленные экспериментальные исследования позволили установить, что наибольшая чувствительность к фазовому сдвигу в многокомпонентных сигналах обнаруживается в полосе 600 .. 4000 Гц и составляет 10 ... 15°. Значение этих порогов зависит от разности частот и амплитуд составляющих сигнала, условий прослушивания, интенсивности сигнала и т. д. Зависимость пороговых значений разности фаз от разности частот составляющих в трехкомпонентном сигнале при прослушивании через телефоны и в заглушенной камере показана на рис. 1.7, а. Наиболее информативной мерой фазовых искажений с точки зрения субъективного восприятия являются искажения ГВЗ. Усредненные данные по порогам слышимости

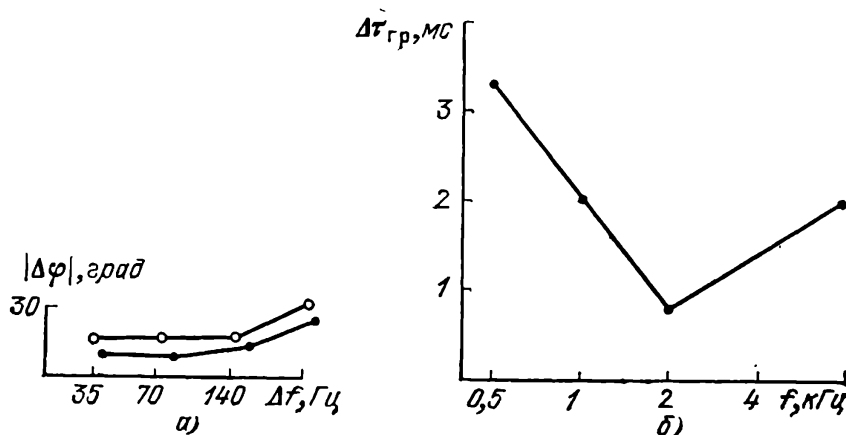


Рис. 1.7. Субъективные пороги восприятия фазовых искажений: а — зависимость фазового сдвига  $\Delta\varphi$  от разности частот в трехкомпонентном сигнале, б — зависимость пороговых значений  $\Delta\tau_{гр}$  от частоты

сти искажений ГВЗ для различных типов сигналов показаны на рис. 1.7,б [1.15]. Сравнение пороговых значений искажений с усредненными для ряда высококачественных АС показывает, что в области нижних частот искажения ГВЗ в АС при измерениях на оси системы превышают пороговые значения, тогда как в области от 1000 Гц и выше эти значения близки.

### Переходные искажения

Процесс нарастания («атака») и спада звукового давления в музыкальных и речевых сигналах играет существенную роль в идентификации музыкальных инструментов и распознавании речи. Величина искажений этих процессов, называемых переходными, при воспроизведении реальных звуковых сигналов через звуковоспроизводящую аппаратуру является важнейшей характеристикой ее качества. Поэтому в процессе создания АС категории  $N_i-F_i$  большое внимание уделяется разработке методов измерений переходных искажений и способов их нормирования.

Для измерения переходных искажений в АС используется широкий класс сигналов: ступенчатая функция, пакеты тональных сигналов, прямоугольные импульсы с синусоидальным заполнением, прямоугольные импульсы малой длительности, отдельные музыкальные тоны и т. д. Наибольшее распространение для изучения переходных искажений в АС получили пакеты тональных сигналов, так как при изменении частоты заполнения пакета можно исследовать характер переходного процесса в различных частотных областях и оценивать вклад отдельных резонансных частот АС в общую структуру переходного процесса.

Структурная схема измерений переходных процессов показана на рис. 1.8. С генератора, входящего в установку автоматической

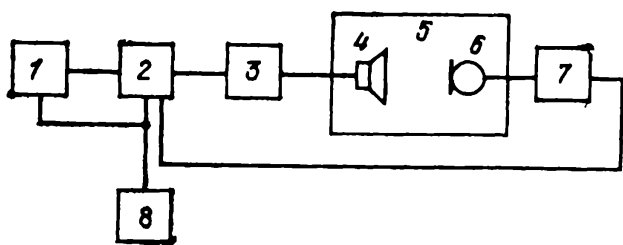


Рис. 1.8. Структурная схема измерений переходных процессов

записи 1, синусоидальный сигнал поступает на измеритель переходных процессов 2, где превращается в пакеты тональных сигналов, далее сигнал через усилитель мощности 3 подается на измеряемую АС 4, находящуюся в заглушенной камере 5. На вход микрофона поступают пакеты тональных сигналов, в паузе которых присутствуют переходные процессы, создаваемые в АС. Эти сигналы через усилитель 7 передаются на второй вход измерителя 2, в котором происходит подавление стационарной части пакета. С выхода прибора 2 сигнал подается на вход осциллографа 8 и на вход установки 1, в которой может использоваться детектор среднеквад-

ратичных значений, что позволяет осуществлять запись средне-квадратичного значения давления в паузе на бланке самописца. Методика имеет несколько модификаций: пакеты могут содержать постоянное число периодов на любой частоте, могут иметь постоянную длительность во всем частотном диапазоне при разном числе периодов, число периодов в пакете может изменяться ступенчато и т. д. Осциллограммы, снятые с экрана осциллографа, на одной резонансной частоте и между двумя резонансными частотами показаны на рис. 1.9. По осциллограммам на резонансных час-

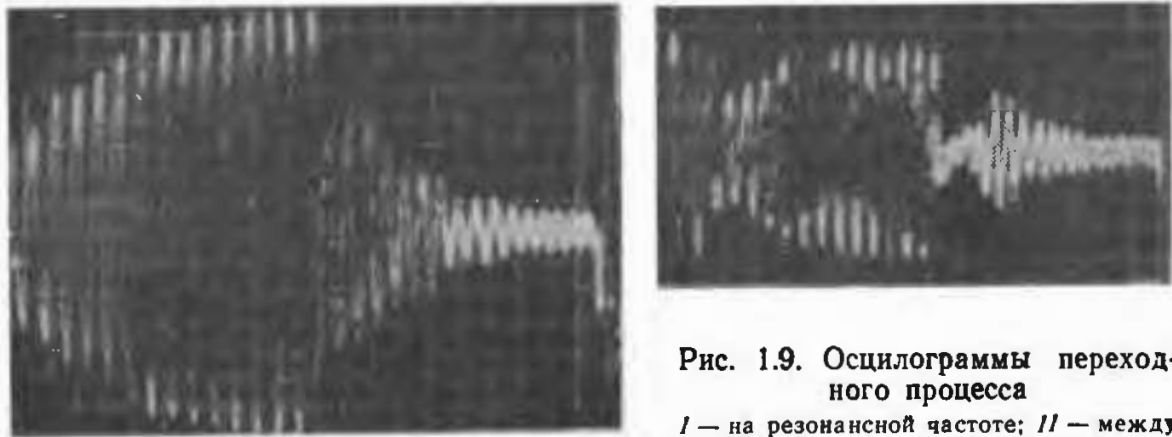


Рис. 1.9. Осциллограммы переходного процесса  
I — на резонансной частоте; II — между двумя резонансными частотами

тотах можно определить такие параметры переходного процесса, как декремент колебания  $\Delta = 1/\pi \ln A_n/A_{n+1}$  (где  $A_n/A_{n+1}$  — отношение амплитуд предыдущей полуволны к последующей) и время затухания (или установления)  $\tau(f)$  переходного процесса, т. е. время, в течение которого амплитуда сигнала падает до 0,1 начального значения.

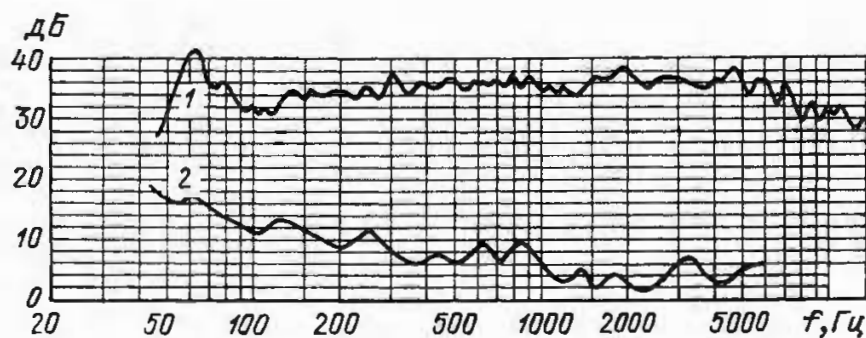


Рис. 1.10. Частотные характеристики  $p_{ср.п}$ :  
1 — стационарная; 2 — переходная

Вопрос о нормировании переходных искажений АС неоднократно обсуждался в литературе, однако установленных международными рекомендациями норм в настоящее время еще нет. Наиболее распространенными параметрами при оценке переходных искажений в АС являются: частотно-зависимая разность уровней сред-

неквадратичного звукового давления переходного процесса в паузе между импульсами рис. 1.10, т. е.  $20 \lg(p_{\text{ср.п}}/p_{\text{ср}})$ , и величина времени установления  $\tau(t)$ .

Анализ результатов субъективных экспертиз, выполненный в работе [1.16], позволил рекомендовать норму для  $20 \lg(p_{\text{ср.п}}/p_{\text{ср}}) = -20$  дБ. Субъективные дифференциальные пороги для времени установления  $\tau$ , полученные в результате исследований, выполненных в институте физиологии им. И. П. Павлова, для сигналов типа прямоугольных импульсов с синусоидальным заполнением, оказались равными в области частот  $1 \dots 10$  кГц  $\Delta\tau = 0,5$  мс, в области ниже 1 кГц  $\Delta\tau = 1$  мс (при этом чувствительность слуха к изменению  $\tau(t)$  и при установлении, и при спаде переходного процесса оказалась практически одинакова). Для реальных музыкальных сигналов дифференциальные пороги должны быть выше, так как искажения  $\tau(t)$  в АС маскируются собственными процессами установления и спада музыкальных звуков, которые изменяются в пределах от 5 до 360 мс. В настоящее время этот вопрос интенсивно изучается.

### 1.3. НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

Как уже было отмечено в § 1.2, при воспроизведении реальных музыкальных и речевых сигналов в акустических системах наряду с линейными искажениями возникают и нелинейные, причем их уровень обычно значительно выше, чем во всех остальных звеньях звуковоспроизводящего тракта. Для оценки нелинейных искажений используют различные виды испытательных сигналов: тональные, шумовые, музыкальные и др. Однако чаще всего для измерений и нормирования нелинейных искажений в АС применяют тональные сигналы.

Для оценки гармонических искажений ГОСТ 16122—78 [1.1] предусматривает использование нескольких видов коэффициентов, рекомендацией МЭК [1.5] для аппаратуры  $H_i—F_i$  предусмотрено применение суммарного характеристического коэффициента гармоник, определяемого как отношение, выраженное в процентах, среднеквадратичного значения звукового давления всех высших гармоник, взятых вместе, к среднеквадратичному значению звукового давления  $p_{\text{ср}}$  в заданном диапазоне частот:

$$\kappa_{\Gamma} = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \kappa_{\Gamma n}^2}$$

Измерения выполняются в условиях свободного поля на синусоидальном сигнале при мощности, соответствующей уровню звукового давления, равному  $N_{\text{ср}} = 90$  дБ (усреднение производится в диапазоне  $100 \dots 8000$  Гц). Обычно ограничиваются суммированием коэффициентов второго и третьего порядков. Методика измерений  $\kappa_{\Gamma}$  приведена в ГОСТ 16122—78 [1.1]. Минимальные требования к АС категории  $H_i—F_i$  [1.5] по этому параметру составляют: в диа-