

ОБ ИЗМЕРЕНИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯХ МЕТОДОМ ИНФРАЗВУКОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Б. Г. Белкин

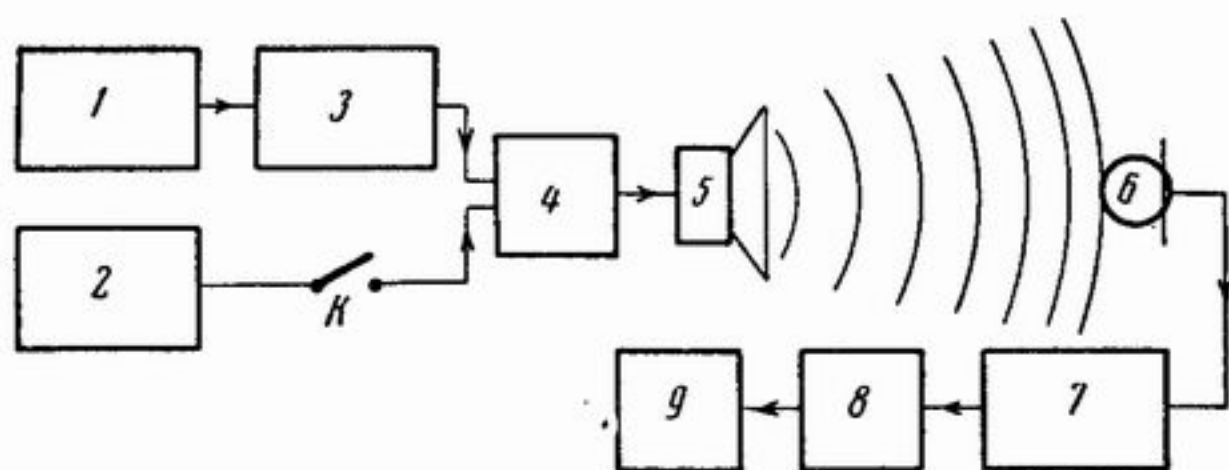
Неравномерность частотных характеристик громкоговорителей затрудняет применение к ним обычных методов измерения нелинейных искажений. Поэтому предлагается для оценки нелинейных искажений в громкоговорителях подавать на них сигналы звуковой и инфразвуковой частоты и измерять колебания звукового давления, обусловленные перемещением подвижной системы с инфразвуковой частотой.

В настоящее время для измерения нелинейных искажений в электроакустической аппаратуре применяются различные методы и соответственно используются различные критерии оценки нелинейных искажений. Так, например, широко используется оценка искажений по составу и относительному уровню высших гармонических, создаваемых испытуемым аппаратом при воспроизведении синусоидального сигнала (метод гармоник). Другую группу образуют методы, предусматривающие подведение к аппарату двух синусоидальных сигналов различных частот; нелинейные искажения оцениваются при этом по относительному уровню возникающих комбинационных тонов (метод интермодуляции, метод разностного тона и т. п.). Всем этим методам присущ один общий недостаток, заключающийся в том, что результат измерения в значительной мере определяется не только собственно нелинейными, но и частотными свойствами испытуемого аппарата. Этот недостаток особенно сильно сказывается при измерении нелинейных искажений в громкоговорителях, которые в большинстве случаев обладают резко неравномерной частотной характеристикой.

Поэтому представляет интерес разработка метода измерения нелинейных искажений, который, будучи специально предназначен для исследования громкоговорителей, был бы по возможности свободен от указанного недостатка. Таким методом может явиться описываемый в настоящей статье способ измерений нелинейных искажений в громкоговорителях, условно названный «методом инфразвуковой модуляции» и представляющий собой своеобразную модификацию метода интермодуляции.

Рассмотрим блок-схему, изображенную на фиг. 1. Она содержит источник сигнала звуковой частоты с усилителем, инфразвуковой генератор, дающий частоту порядка 1 гц, и смесительное устройство, линейно складывающее сигналы звуковой и инфразвуковой частот; приемная часть содержит измеритель звукового давления с микрофоном, детектором и индикатором. Пусть ключ K разомкнут. Тогда на громкоговоритель поступает только сигнал звуковой частоты, и если он постоянен во времени, то постоянно и напряжение, отсчитываемое на индикаторе. Замкнем теперь ключ K ; тогда помимо сигнала звуковой частоты на громкоговоритель поступит также и инфразвуковое напряжение. Если бы громкоговоритель был линейным, то колебания подвижной системы с инфразвуковой частотой никак не отразились бы на излучении

сигнала звуковой частоты и показания индикатора не изменились бы. Однако в действительности громкоговоритель вносит нелинейные искажения и излучаемый сигнал звуковой частоты меняется в такт перемещению подвижной системы с частотой инфразвука. Если постоянная времени детектора в приемном устройстве мала сравнительно с периодом инфразвукового сигнала, то на выходе детектора помимо постоянной появляется и переменная составляющая инфразвуковой частоты. Относительная величина этой составляющей может служить мерой нелинейных искажений комбинационного типа, вносимых громкоговорителем.



Фиг. 1. Блок-схема измерения нелинейных искажений в громкоговорителях методом инфразвуковой модуляции

1 — источник сигнала звуковой частоты, 2 — генератор инфразвуковой частоты, 3 — усилитель, 4 — смесительное устройство, 5 — испытуемый громкоговоритель, 6 — измерительный микрофон, 7 — измеритель звукового давления, 8 — детектор, 9 — индикатор

Пусть громкоговоритель, питаемый по схеме фиг. 1, создает в некоторой фиксированной точке поля звуковое давление с эффективным значением $\overline{p(t)}$. Если подводимый к громкоговорителю звуковой сигнал постоянен и нелинейные искажения отсутствуют, то $\overline{p(t)} = \text{const}$. Если в громкоговорителе возникают нелинейные искажения, то $\overline{p(t)}$ изменяется периодически с периодом T , равным периоду напряжения инфразвуковой частоты. Разлагая $\overline{p(t)}$ в ряд по периоду T , мы можем записать его в виде

$$\overline{p(t)} = \overline{p_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \overline{p_n} \cos(n\Omega t + \varphi_n),$$

где $\Omega = \frac{2\pi}{T}$. Определим коэффициент инфразвуковой модуляции отношением

$$k = \frac{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} \overline{p_n^2}}}{\overline{p_0}}. \quad (1)$$

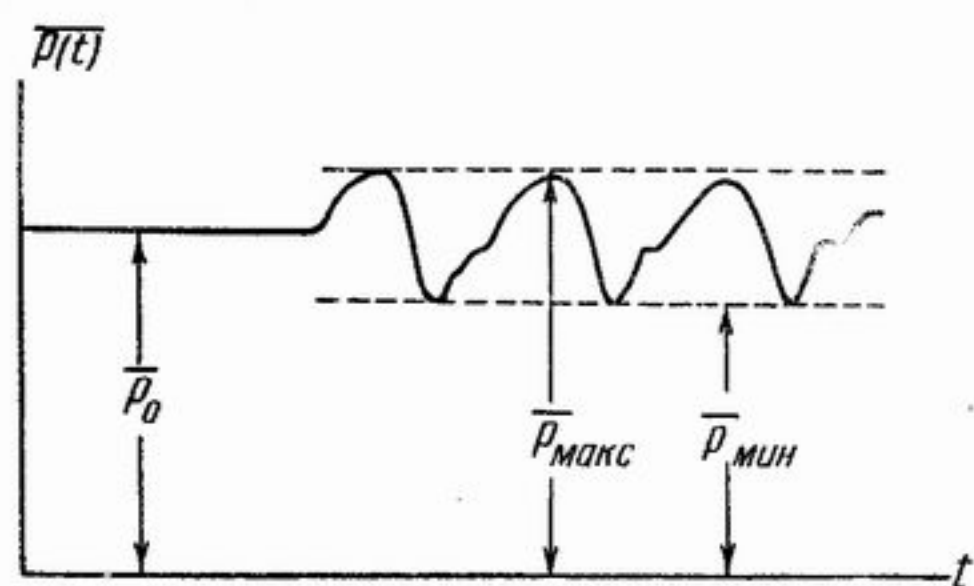
Нетрудно видеть, что если сигналом звуковой частоты служит чистый тон, то определение коэффициента инфразвуковой модуляции совпадает с обычным определением коэффициента интермодуляции. Однако в общем случае коэффициент инфразвуковой модуляции имеет более широкий смысл, так как его определение не накладывает никаких ограничений на вид модулируемого звукового сигнала.

Помимо коэффициента инфразвуковой модуляции k введем также понятие коэффициента инфразвуковой неравномерности m , который определим выражением

$$m = \frac{\overline{p_{\max}} - \overline{p_{\min}}}{\overline{p_{\max}} + \overline{p_{\min}}}, \quad (2)$$

где $\overline{p_{\max}}$ и $\overline{p_{\min}}$ — соответственно максимальная и минимальная величины эффективного значения звукового давления (фиг. 2). Если сигналом звуковой частоты служит чистый тон, то определение коэффициента инфразвуковой неравномерности совпадает с общепринятым определением коэффициента амплитудной модуляции. В общем же случае коэффициент инфразвуковой неравномерности, как и коэффициент инфразвуковой модуляции, имеет более широкий смысл, так как и здесь определение не накладывает ограничений на вид модулируемого сигнала.

Важно подчеркнуть, что определение коэффициента инфразвуковой модуляции исходит из оценки энергетического спектра развиваемого громкоговорителем звукового давления, а определение коэффициента



Фиг. 2. К определению коэффициентов искажений

инфразвуковой неравномерности — из оценки временных свойств звукового давления. Поэтому между этими двумя коэффициентами нет и не может быть однозначного соответствия.

Основным критерием нелинейных искажений при измерениях по методу инфразвуковой модуляции является, конечно, коэффициент инфразвуковой модуляции, определение которого, базирующееся на спектральных свойствах исследуемого сигнала, постро-

ено по аналогии с определениями общепринятых коэффициентов нелинейных искажений: коэффициента гармоник, коэффициента интермодуляции и др. Однако в некоторых случаях, как будет показано ниже, не лишено смысла и измерение коэффициента инфразвуковой неравномерности.

Форма инфразвукового сигнала при измерениях по описываемому методу не играет существенной роли. Однако наиболее удобным является синусоидальный сигнал частоты порядка 1 гц, так как он практически не излучается громкоговорителем и позволяет удобно осуществить автоматическую запись результатов измерений. Особых требований к точному значению частоты и ее постоянству не предъявляется.

Рассмотрим вопрос о необходимой величине инфразвукового сигнала. Нелинейные искажения в громкоговорителях оценивают обычно при заданной величине подводимой к громкоговорителю электрической мощности $P_{эл}$. При измерениях по методу инфразвуковой модуляции оцениваются вносимые в передачу звукового сигнала комбинационные искажения типа интермодуляции, обусловленные перемещением подвижной системы громкоговорителя с частотой инфразвука. Поэтому напряжение инфразвукового сигнала $U_{из}$ должно соответствовать заданным условиям измерений мощности $P_{эл}$ и определяется следующим образом: а) в соответствии с целью измерений устанавливается мощность $P_{эл}$; б) в соответствии с номинальным сопротивлением громкоговорителя R_N устанавливается напряжение $U_{зв}$, соответствующее мощности $P_{эл}$ ($U_{зв} = \sqrt{P_{эл} R_N}$); в) устанавливается частота $f_{зв}$, на которой в пределах воспроизводимого диапазона частот амплитуда колебаний подвижной системы максимальна; г) на частоте $f_{зв}$ при напряжении $U_{зв}$ измеряется амплитуда смещения X ; д) устанавливается напряжение инфразвукового сигнала $U_{из}$, при котором амплитуда смещения подвижной системы равна X . При этом напряжении $U_{из}$ и производится измерение нелинейных искажений.

В качестве сигнала звуковой частоты можно использовать чистый тон любой частоты, мультитон, белый шум, полосы любой ширины, вырезаемые из белого шума, и др. Мощность сигнала звуковой частоты $P_{зв}$ должна быть выбрана так, чтобы смещение подвижной системы под

действием этого сигнала было невелико по сравнению со смещением, создаваемым инфразвуковым сигналом. Удобным является соотношение $P_{зв} = (0,05 \div 0,10) P_{из}$.

Как известно, измерение электроакустических параметров громкоговорителей обычно должно производиться на открытом воздухе или в заглушенных камерах. Иначе обстоит дело при измерении нелинейных искажений методом инфразвуковой модуляции. Если в качестве сигнала звуковой частоты применяется чистый тон, то в процессе измерений не производится сравнения уровней различных по частоте компонент и интерференционные явления не влияют на результат измерений. Поэтому эти измерения можно производить в любых акустических условиях. Если сигнал звуковой частоты имеет более сложный спектральный состав, то интерференционные явления могут изменить относительную роль отдельных спектральных составляющих. В силу зависимости коэффициента инфразвуковой модуляции от частоты звукового сигнала соответственно может измениться и результат измерений. Поэтому такие измерения следовало бы проводить в специальной акустической обстановке. Однако при сигналах звуковой частоты с достаточно богатым спектром, таких, как белый шум, ошибки, вносимые за счет интерференции на различных частотах, достаточно хорошо усредняются и практически такие измерения, как и измерения на чистом тоне, можно производить в произвольных акустических условиях.

Рассмотрим некоторые варианты измерений, представляющие наибольший интерес.

Измерение частотной характеристики коэффициента инфразвуковой модуляции. При этом измерении источником сигнала звуковой частоты служит звуковой генератор. Величина коэффициента инфразвуковой модуляции оценивается инфразвуковым модулометром, включаемым на выход измерителя звуковых давлений. В процессе измерений находится коэффициент инфразвуковой модуляции при разных частотах тона звуковой частоты, и по найденным значениям строится частотная характеристика коэффициента инфразвуковой модуляции.

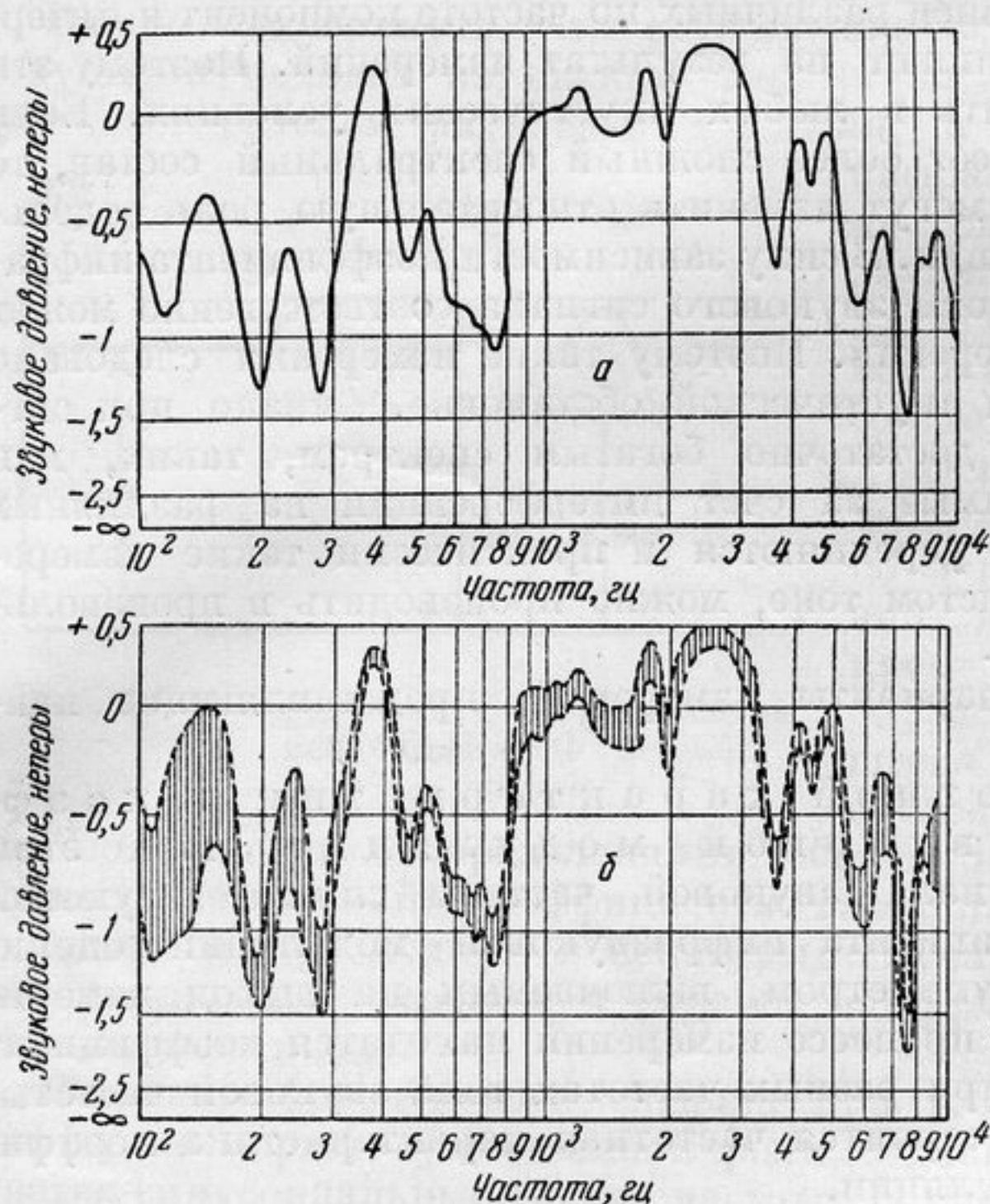
Измерение частотной характеристики коэффициента инфразвуковой неравномерности отличается от предыдущего лишь тем, что инфразвуковой модулометр заменяется здесь обычным вольтметром эффективных значений. Нелинейные искажения приводят к соответствующим изменениям в показаниях вольтметра, которые и регистрируются. Далее по формуле (2) вычисляются соответствующие коэффициенты инфразвуковой неравномерности. Такие измерения очень легко автоматизировать: достаточно заменить вольтметр соответствующим самопишущим прибором и изменять настройку генератора звуковой частоты синхронно с движением ленты. На фиг. 3 показаны типовая частотная характеристика чувствительности, снятая в обычных условиях, и та же характеристика, снятая в присутствии инфразвукового сигнала. Легко видеть, что последняя характеристика дает отчетливое представление о коэффициенте инфразвуковой неравномерности и его зависимости от частоты звукового сигнала.

Небезинтересно отметить, что блок-схема измерительной установки при таких измерениях отличается от блок-схемы, общепринятой при измерении частотных характеристик чувствительности громкоговорителей только добавлением генератора инфразвуковой частоты и смесительного устройства. Таким образом, эти измерения не требуют какой-либо сложной дополнительной аппаратуры и легко могут быть реализованы всюду, где имеются установки для определения частотных характеристик чувствительности громкоговорителей. В силу исключительной простоты таких измерений они могут занять основное место при использовании метода инфразвуковой модуляции, а измерение коэффициентов ин-

фразвуковой модуляции может производиться в случае необходимости более детальных исследований*.

Измерение средних коэффициентов инфразвуковой модуляции и неравномерности. Средний коэффициент нелинейных искажений является грубым критерием качества громкоговорителей. Однако в некоторых случаях и он может представить интерес. Здесь уместно провести аналогию между нелинейными искажениями и чувствительностью.

Как известно, средняя чувствительность громкоговорителя мало характеризует его качество. Тем не менее, в ряде случаев при сравнительной оценке, а также при выборочных испытаниях серийной продукции измерение средней чувствительности представляет известный интерес. Средние коэффициенты нелинейных искажений можно получить, планиметрируя соответствующие частотные характеристики, однако такая процедура весьма трудоемка. Поэтому целесообразно измерять средние коэффициенты искажений непосредственно. Для реализации таких измерений достаточно в качестве источника сигнала звуковой частоты применить генератор белого шума, охватывающего весь диапазон звуковых частот. Пропуская белый шум через фильтры с соответ-



Фиг. 3. Типовая частотная характеристика громкоговорителя

а — записанная в обычных условиях, б — та же характеристика, записанная в присутствии инфразвукового сигнала

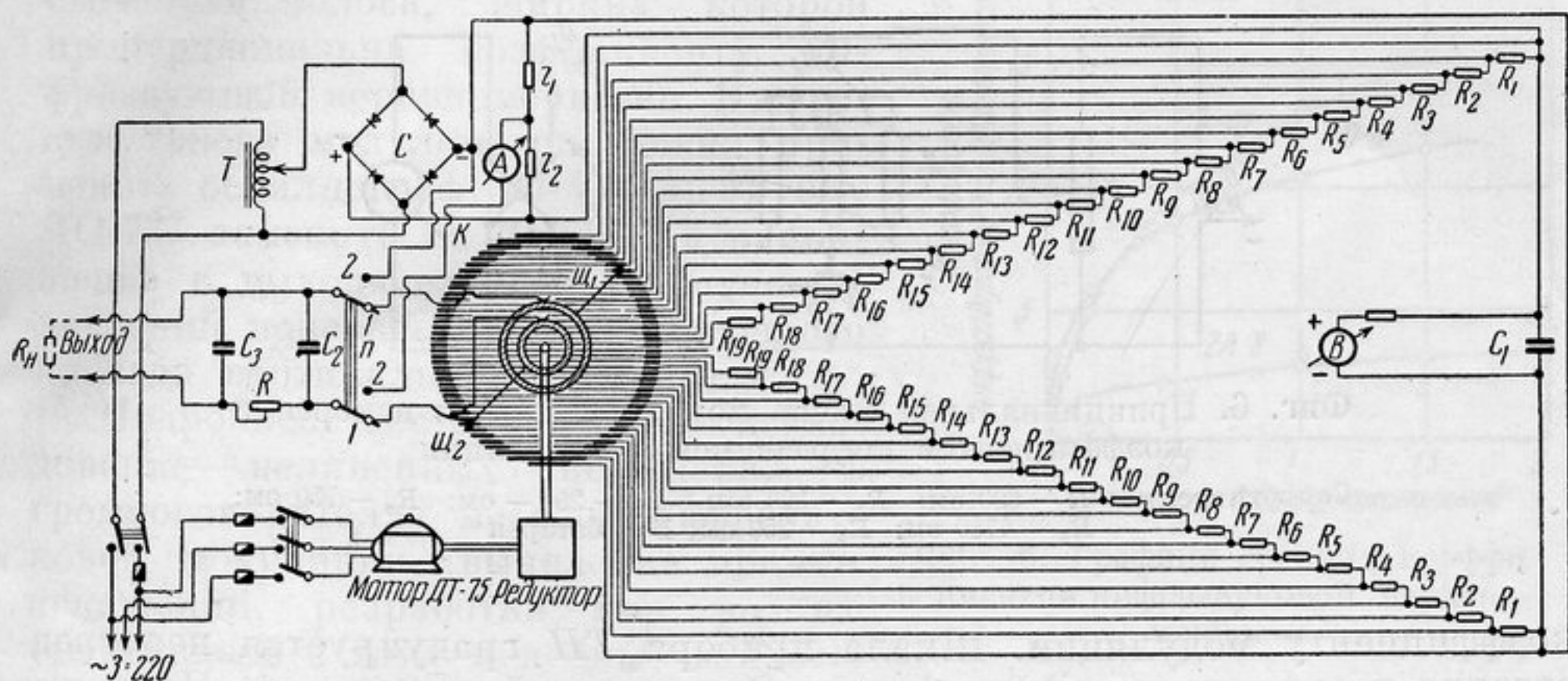
ствующими характеристиками, можно оценивать нелинейные искажения с учетом свойств слуха, спектральных свойств реальных сигналов и т. п.

Как уже указывалось выше, для осуществления измерений нелинейных искажений в громкоговорителях методом инфразвуковой модуляции можно использовать обычный комплекс аппаратуры, применяемый для исследования частотных характеристик громкоговорителей. В нашей работе в качестве основы для измерительной установки были использованы автоматический характеристограф (пегельшрайбер) и обычный измеритель звукового давления. Установка была дополнена только источником инфразвукового сигнала, смесителем и модулометрами.

Ввиду того, что никаких особых требований, кроме достаточной мощности, к источнику инфразвукового сигнала не предъявляется, было использовано очень простое устройство, представляющее собой реостатный преобразователь постоянного тока в переменный; его принципиальная схема приведена на фиг. 4. Напряжение от сети переменного тока поступает на автотрансформатор T и далее на выпрямитель C . Выпрям-

* Заметим к тому же, что, как показывает опыт уже проводившихся измерений, отношение коэффициентов инфразвуковой неравномерности и модуляции на практике меняется в не слишком широких пределах (от 1 до 2).

ленное напряжение через сопротивления $R_1 — R_{19}$ подается на пластины коммутатора K . Напряжение с коммутатора снимается щетками $Ш_1$ и $Ш_2$ и через фильтр, содержащий конденсаторы C_2 и C_3 , и регулируемое сопротивление R , поступает на нагрузку. При соответствующей конструкции коммутатора и правильном выборе сопротивлений $R_1 — R_{19}$, R и сопро-

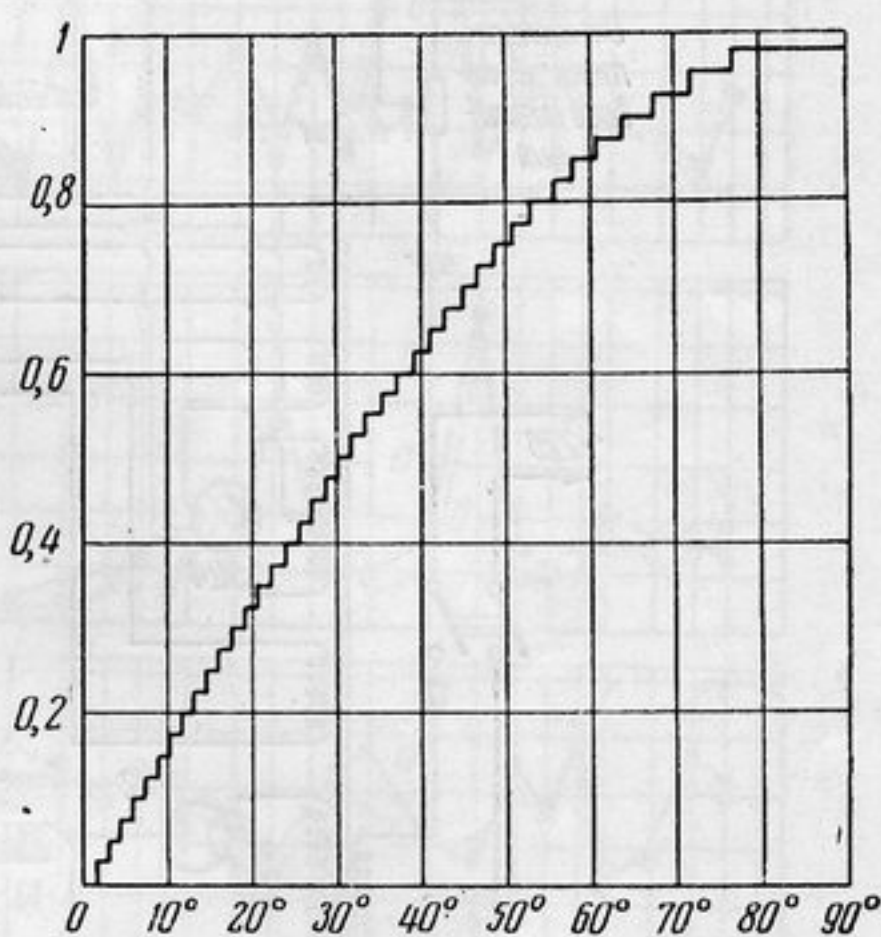


Фиг. 4. Принципиальная схема генератора инфразвуковой частоты

тивления нагрузки R_n ток в нагрузке при вращении щеток меняется в течение четверти периода, как показано на фиг. 5, т. е. закон изменения тока близок к синусоидальному. Замена непрерывного изменения сопротивлений дискретным изменением приводит к тому, что помимо синусоидальной появляется еще и модулированная по частоте пилообразная составляющая. Нетрудно показать, что основная мощность этого мешающего сигнала сосредоточена в диапазоне звуковых частот. Для его устранения служит фильтр, состоящий из сопротивления R и емкостей C_2 , C_3 . При наличии фильтра изменение тока в нагрузке практически не отличается от синусоидального. Делитель, состоящий из сопротивлений r_1 и r_2 , и амперметр A служат для калибровки устройства, которая сводится к измерению сопротивления нагрузки методом вольтметра-амперметра.

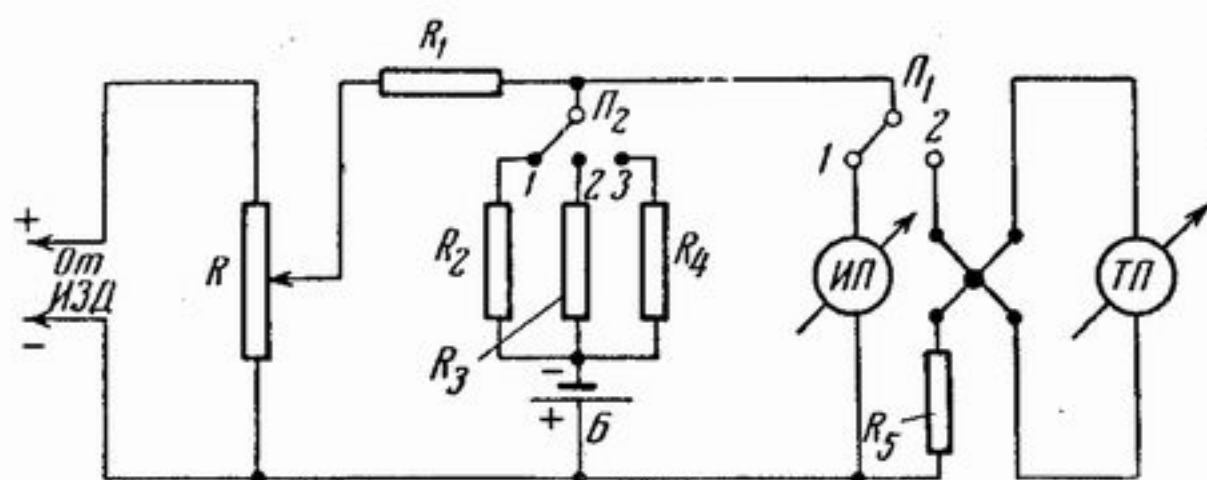
В качестве модулометров использовались по существу вольтметры эффективных и пиковых значений, измеряющие соответствующие параметры инфразвуковой составляющей сигнала на выходе измерителя звуковых давлений.

Схема модулометра для измерения коэффициента инфразвуковой модуляции изображена на фиг. 6. Выпрямленное напряжение от измерителя звуковых давлений поступает на потенциометр R и далее на измерительный прибор $ИП$, имеющий нуль по середине шкалы. К прибору подключена также компенсационная батарея B . Регулировкой потенциометра R при выключенном генераторе инфразвуковой частоты добиваются установки стрелки прибора $ИП$ на нуль, после чего переводят переключатель $П_1$ в положение 2. При этом вместо прибора $ИП$ в схему вклю-



Фиг. 5. Кривая тока в генераторе инфразвуковой частоты

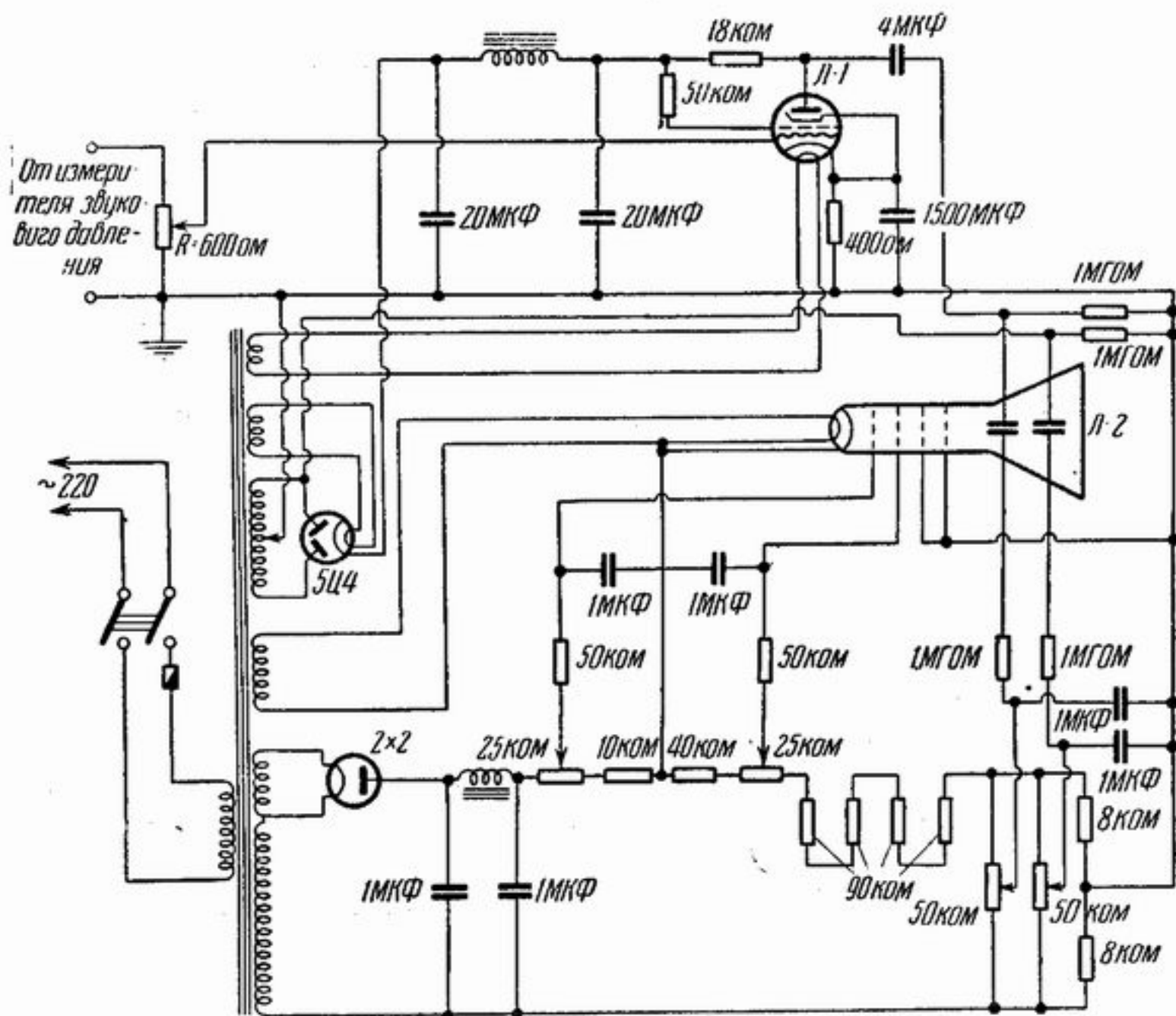
чается термоприбор $T\Pi$, термopара которого обладает большой постоянной времени. В случае необходимости регулировка потенциометра R уточняется с целью получения нулевых показаний на приборе $T\Pi$. Далее на испытуемый громкоговоритель подается инфразвуковое напряжение и определяются показания прибора $T\Pi$, которые пропорциональны



Фиг. 6. Принципиальная схема модулометра для измерения коэффициентов инфразвуковой модуляции

Сопротивления: R — 600 ом; R_1 — 300 ом; R_2 — 250 ом; R_3 — 750 ом; R_4 — 4750 ом; R_5 — 250 ом; B — батарея

коэффициенту модуляции. Шкала прибора $T\Pi$ градуируется непосредственно в единицах коэффициента инфразвуковой модуляции. Переключатель Π_2 и сопротивления R_2 , R_3 , R_4 служат для изменения чувствительности прибора.

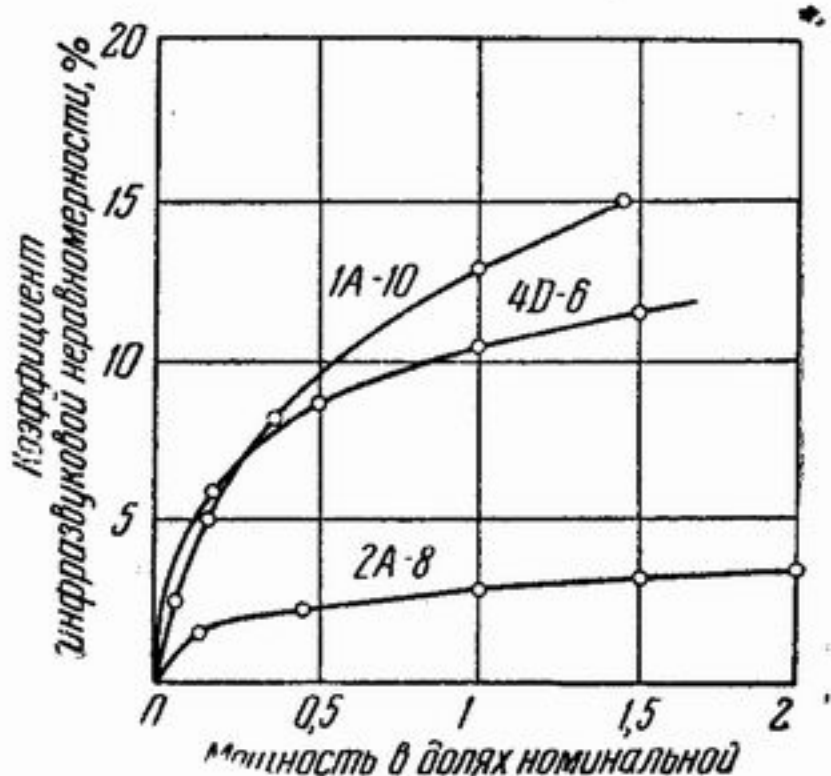


Фиг. 7. Принципиальная схема модулометра для измерения коэффициентов инфразвуковой неравномерности

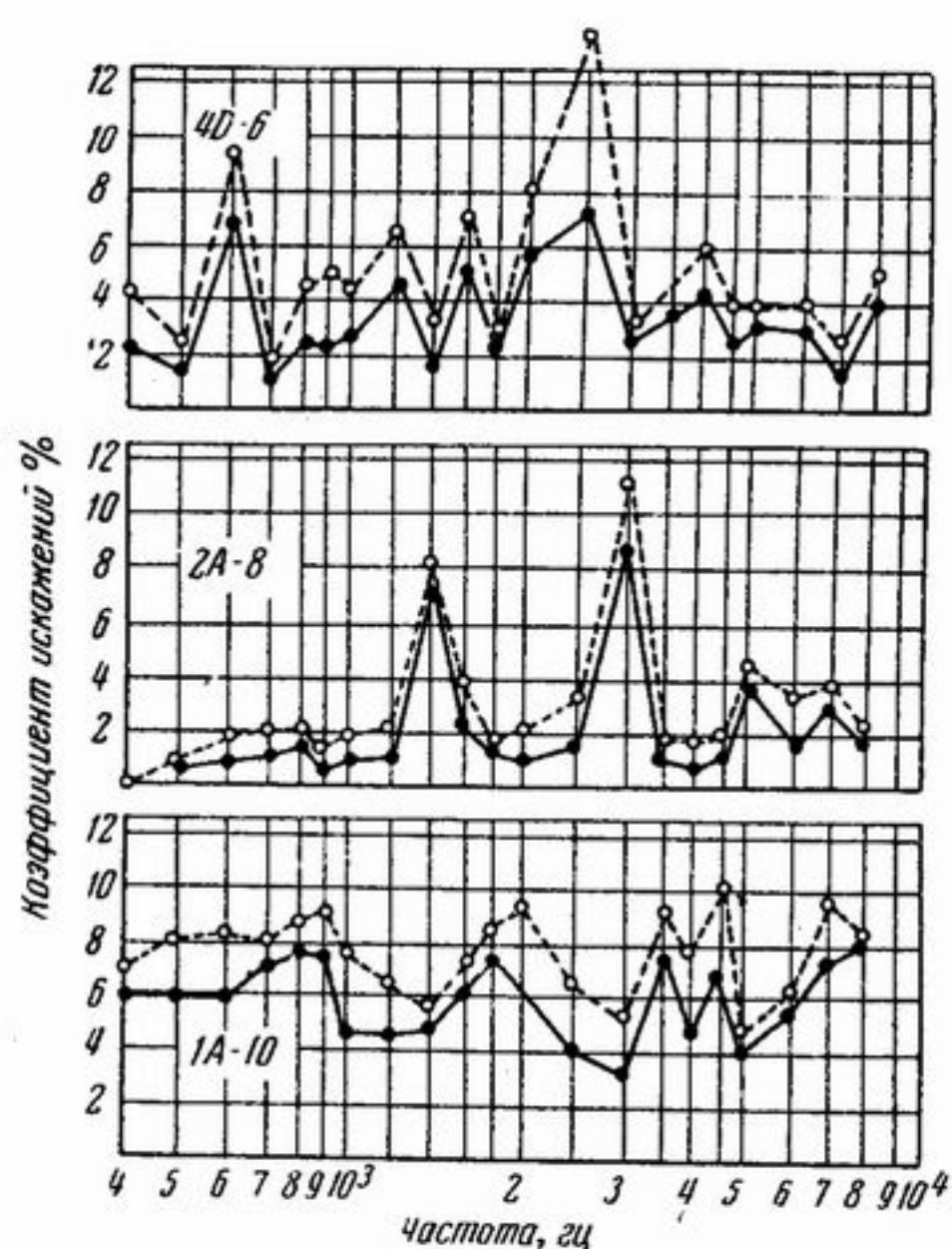
Схема модулометра для измерения коэффициента инфразвуковой неравномерности изображена на фиг. 7. Выпрямленное напряжение с выхода измерителя звуковых давлений через потенциометр R поступает на сетку лампы Л-1 и далее на вертикальные отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки Л-2, обладающей длительным послесвечением экрана. На горизонтальные пластины трубки поступает напряжение сети. Регулировкой потенциометра R при выключенном инфразву-

ковом сигнале добиваются, чтобы линия развертки на экране установилась против оси абсцисс помещенной перед экраном координатной сетки. При включении инфразвукового напряжения, в силу нелинейных искажений, в громкоговорителе на экране образуется горизонтальная засвеченная полоса, ширина которой пропорциональна коэффициенту инфразвуковой неравномерности. В качестве такого модулометра можно применить осциллограф ЭО-4, если трубку ЛО-737 заменить на ЛО-736, а напряжение с выхода измерителя звуковых давлений подавать на вход оконечного каскада вертикального усилителя.

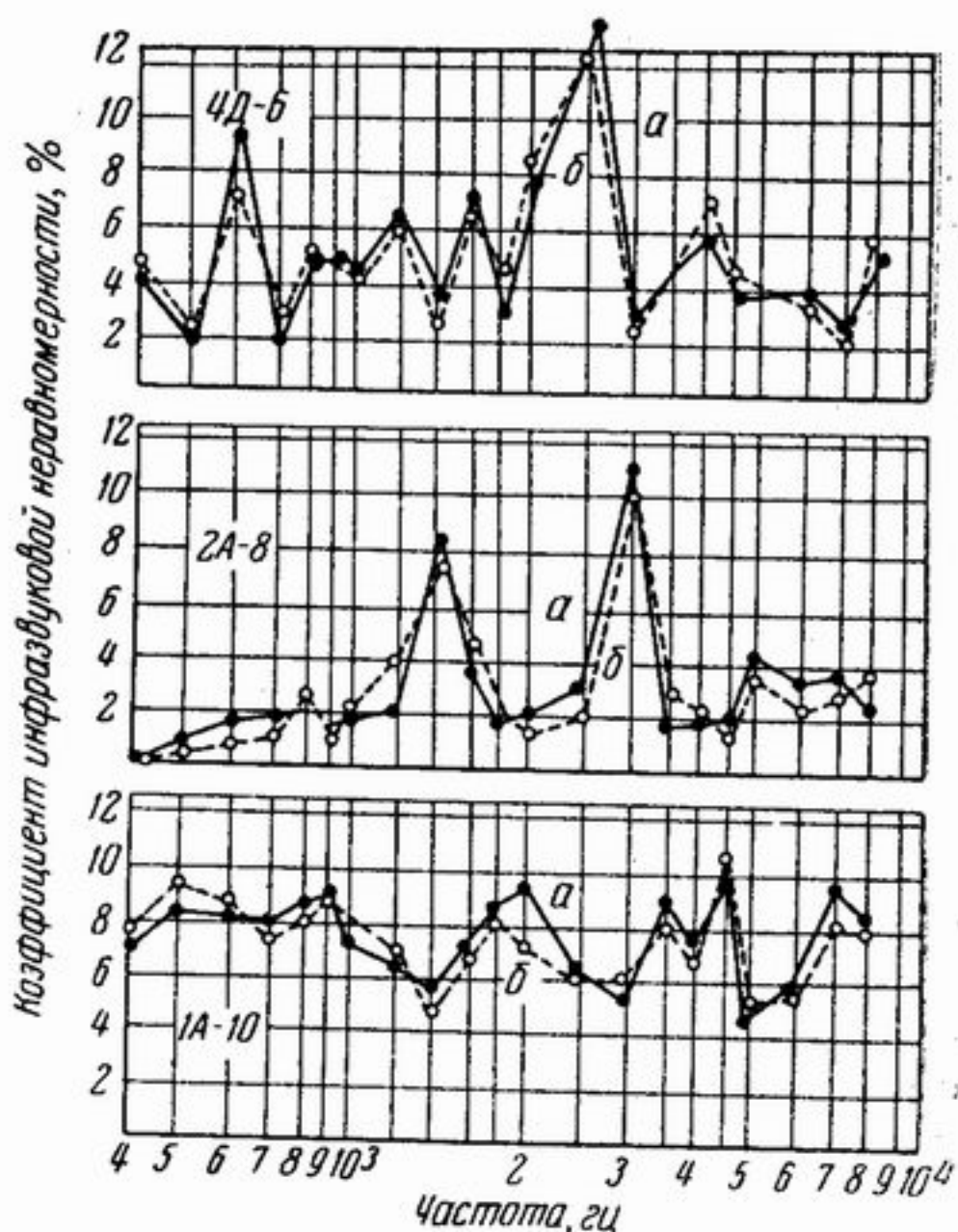
Подробное систематическое исследование нелинейных искажений в громкоговорителях методом инфразвуковой модуляции, выявление причин искажений, разработка мер по их уменьшению и тому подобные вопросы могут составить содержание специальной работы. Приводимые ниже экспериментальные данные имеют целью только иллюстрацию практического применения метода инфразвуковой модуляции. Вместе с тем эти



Фиг. 8. Графики средних коэффициентов инфразвуковой неравномерности



Фиг. 9. Частотные характеристики коэффициентов инфразвуковой неравномерности (сплошная линия) и модуляции (пунктирная)



Фиг. 10. Частотные характеристики коэффициентов инфразвуковой неравномерности громкоговорителей 4Д-6, 2А-8 и 1А-10, измеренные в различных акустических условиях:

а — на открытом воздухе, б — в реверберирующем помещении

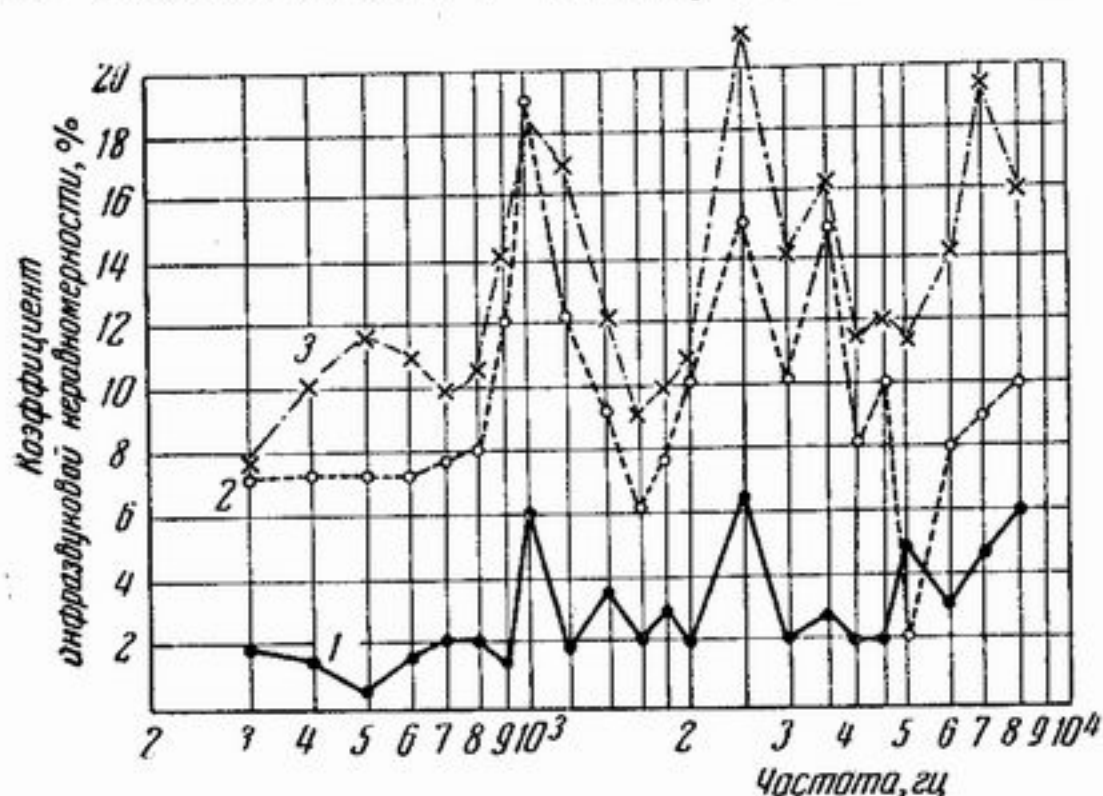
данные дают некоторую информацию о величине и характере нелинейных искажений в громкоговорителях.

На фиг. 8 показаны графики средних коэффициентов инфразвуковой неравномерности для некоторых промышленных типов кинотеатральных диффузорных громкоговорителей в функции от подводимой к громко-

ворителю мощности. Сигналом звуковой частоты при этих измерениях служил белый шум. Напряжение звуковой частоты нормировалось относительно той из звуковых частот, на которой смещение подвижных систем громкоговорителей было при постоянстве подводимого напряжения максимально*. Наилучшим оказывается громкоговоритель 2А-8:

средний коэффициент искажений в нем не превышает при номинальной мощности 3%. Громкоговорители 1А-10 и 4Д-6 по нелинейным свойствам близки друг к другу. У громкоговорителя 1А-10 несколько хуже обстоит дело при больших мощностях: здесь искажения в громкоговорителе 4Д-6 оказываются меньше.

Частотные характеристики коэффициентов инфразвуковой модуляции и неравномерности для указанных громкоговорителей изображены на фиг. 9. Эти кривые получены измерениями «по точкам» и соответствуют по-



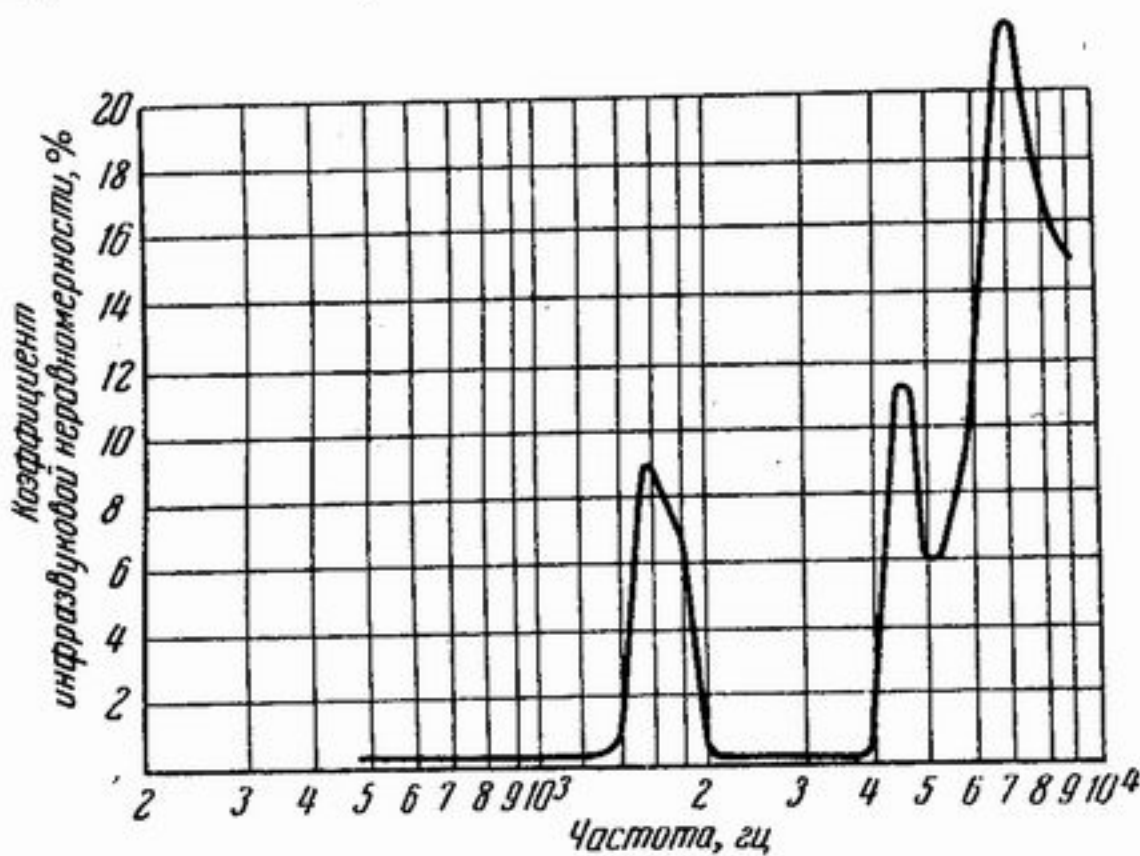
Фиг. 11. Частотные характеристики коэффициента инфразвуковой неравномерности громкоговорителя 2А-8 при различных положениях звуковой катушки

1 — нормальное положение; 2 — смещение на 1,5 мм; 3 — смещение на 3 мм

даче на громкоговорители номинального напряжения звуковой частоты. Как видно из графиков, отношение коэффициентов инфразвуковой неравномерности и модуляции для данных говорителей колеблется от 1 до 2. Кривые, изображенные на фиг. 10, измерены в различных акустических условиях и показывают независимость результатов измерений от акустической обстановки.

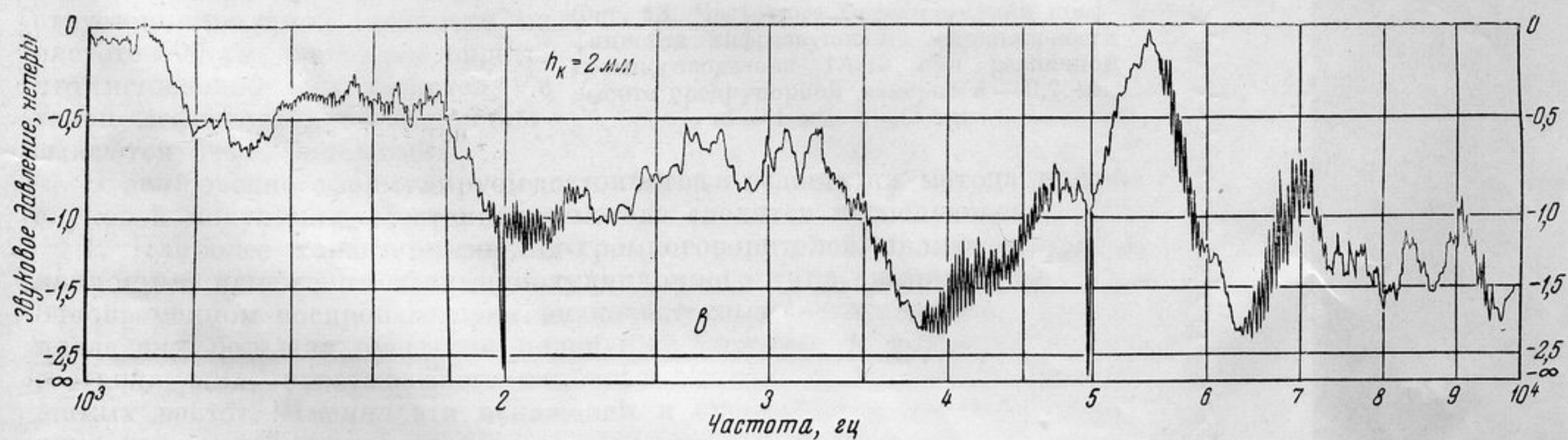
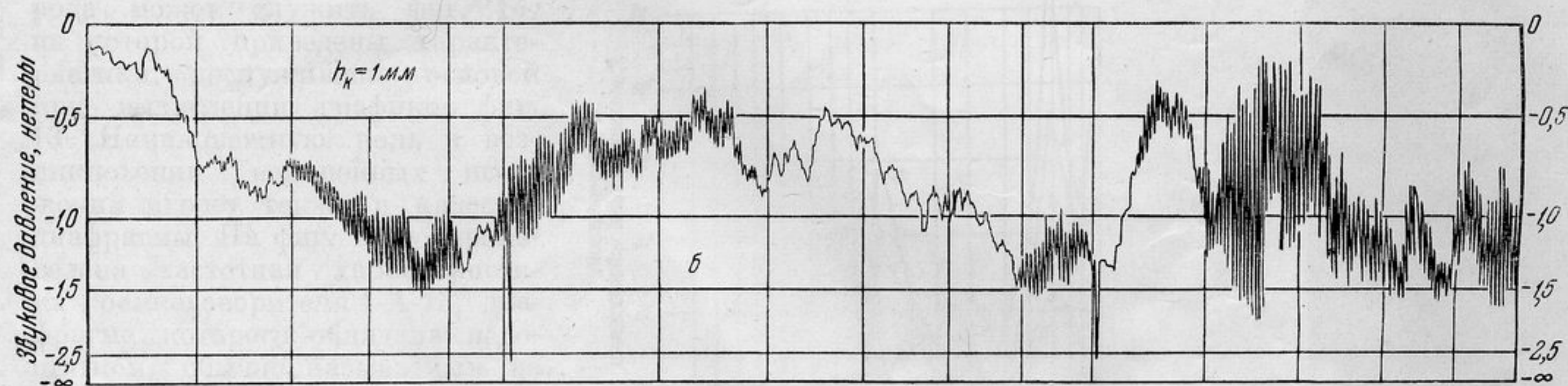
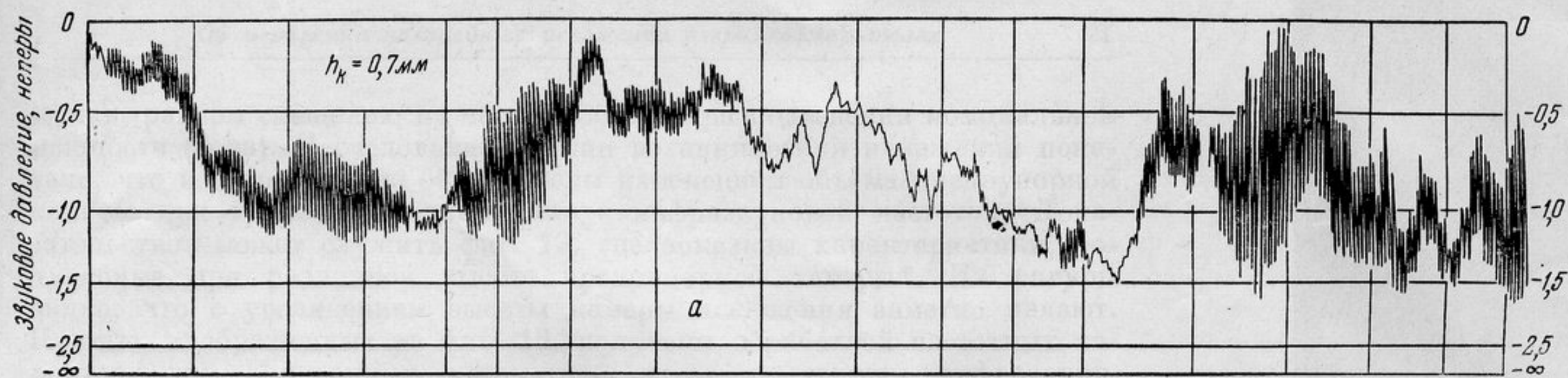
Исследование причин возникновения искажений показало, что они в основном обусловлены неоднородностью магнитного поля в рабочем зазоре и сильно зависят от положения подвижной системы. На фиг. 11 показаны кривые коэффициентов инфразвуковой неравномерности, полученные при нормальном расположении подвижной системы и при искусственном смещении ее на 1,5 и 3 мм. При неправильном положении подвижной системы искажения резко возрастают.

Из числа рупорных громкоговорителей исследованию был подвергнут говоритель 1А-13, входящий в состав кинотеатральных агрегатов 30А-1, 30А-2, 30А-3 в качестве высокочастотного элемента. Частотная характеристика коэффициента инфразвуковой неравномерности для этого громкоговорителя дана на фиг. 12. Эта кривая снята при инфразвуковом сме-

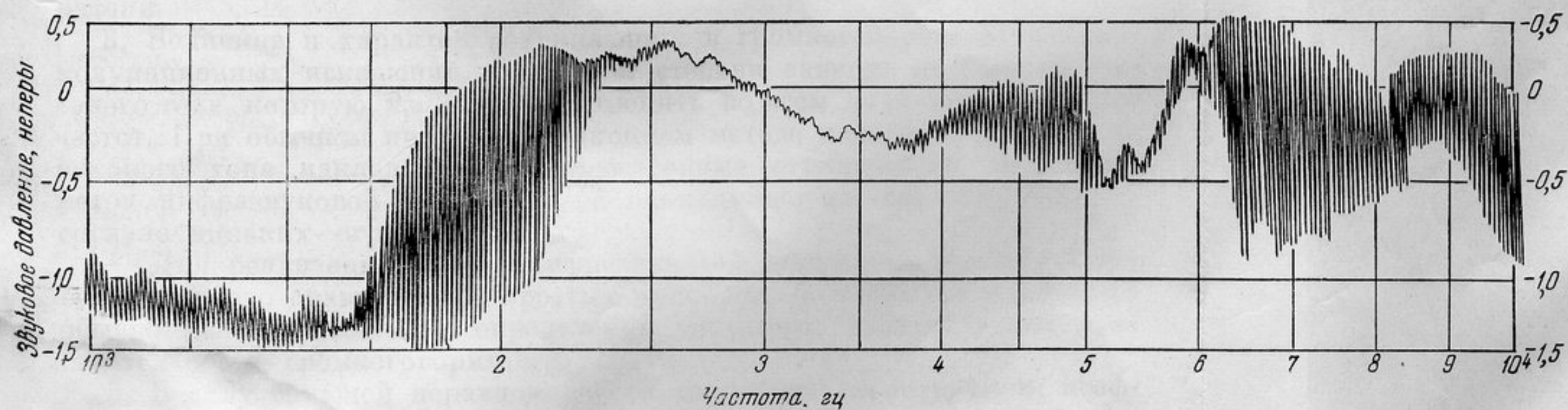


Фиг. 12. Частотная характеристика коэффициента инфразвуковой неравномерности громкоговорителя 1А-13

* В настоящей работе измерение амплитуд смещения производилось либо оптическим путем, либо при помощи емкостного зонда.

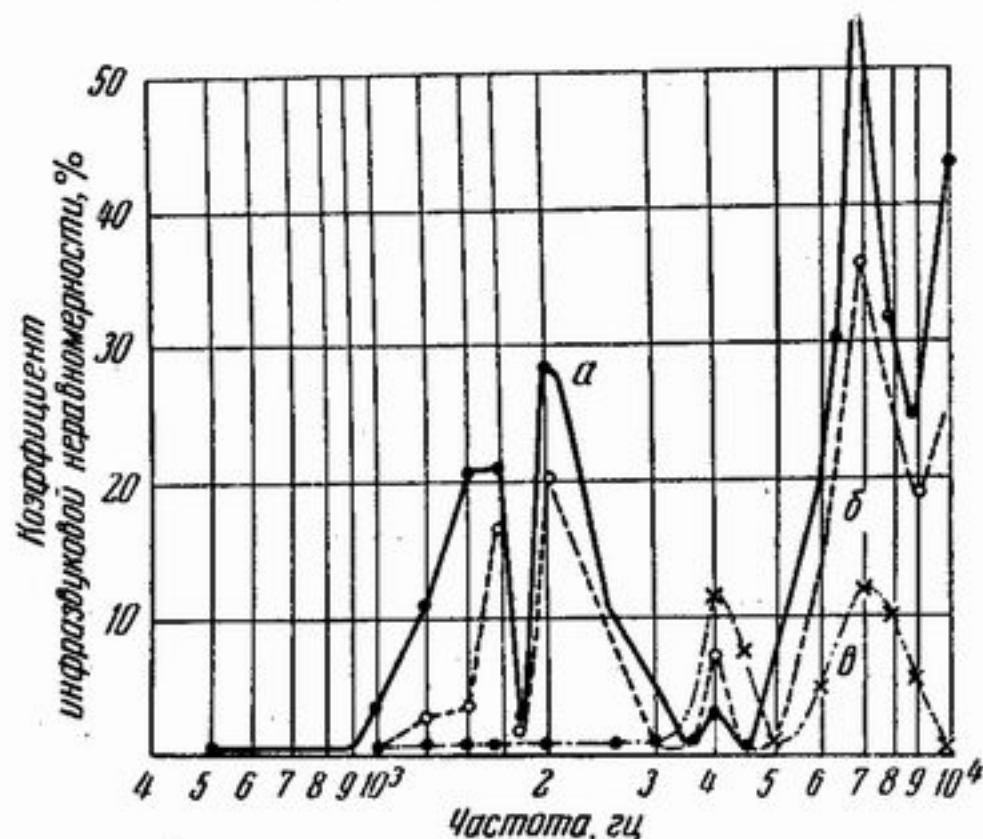


Фиг. 14. Частотные характеристики громкоговорителя 1А-13, снятые в присутствии инфразвукового сигнала, при различной высоте предрупорной камеры: а—0,7 мм, б—1 мм, в—2 мм.



Фиг. 15. Частотная характеристика громкоговорителя 1А-13 с дефектной подвижной системой; характеристика снята в присутствии инфразвукового сигнала.

щении, равном смещению на частоте 500 гц при подведении номинальной мощности (5 ва). Исследование причин возникновения искажений показало, что в основном они обусловлены изменением объема предрупорной камеры при колебаниях диафрагмы с инфразвуковой частотой. Доказательством может служить фиг. 13, где показаны характеристики, полученные при различной высоте предрупорной камеры*. Из фигуры видно, что с увеличением высоты камеры искажения заметно падают. Кривые, изображенные на фиг. 13, получены обработкой частотных характеристик, записанных автоматически в присутствии инфразвука. Иллюстрацией записей такого рода может служить фиг. 14, на которой приведены характеристики, послужившие основой при вычислении графиков фиг. 13. Немаловажную роль в возникновении нелинейных искажений играет также и качество диафрагмы. На фиг. 15 воспроизведена частотная характеристика громкоговорителя 1А-13, диафрагма которого обладала недостатком, обычно называемым на практике «эффектом перещелкивания». Эта кривая соответствует номинальной мощности на частоте 500 гц; нетрудно видеть, что искажения в говорителе с такой дефектной диафрагмой оказываются очень большими.



Фиг. 13. Частотные характеристики коэффициента инфразвуковой неравномерности громкоговорителя 1А-13 при различной высоте предрупорной камеры: а — 0,7 мм, б — 1 мм, в — 2 мм

В заключение сформулируем достоинства и недостатки метода инфразвуковой модуляции. Достоинства метода сводятся к следующему.

1. Наиболее характерными для громкоговорителей являются комбинационные искажения взаимномодуляционного типа, возникающие при одновременном воспроизведении низкочастотных составляющих, обуславливающих большие смещения подвижной системы, и высокочастотных составляющих, охватывающих наиболее важную часть диапазона слышимых частот. Именно эти искажения и оцениваются методом инфразвуковой модуляции.

2. При модуляции сигнала звуковой частоты инфразвуковым тоном с частотой около 1 гц как исходное колебание, так и продукт искажения сосредотачиваются в весьма узком участке спектра. Поэтому результаты измерений практически не зависят от частотных свойств громкоговорителя.

3. Величина и характер возникающих в громкоговорителе взаимномодуляционных искажений в сильной степени зависят от частоты высокого тона, которую желательно изменять во всем диапазоне звуковых частот. При обычном интермодуляционном методе измерений на частоту высокого тона накладываются существенные ограничения. Напротив, метод инфразвуковой модуляции не накладывает на частоту звукового сигнала никаких ограничений.

4. Для реализации метода инфразвуковой модуляции требуется небольшое число сравнительно простых приборов, большая часть которых обычно используется при определении частотных характеристик чувствительности громкоговорителей.

5. В силу большой неравномерности частотных характеристик коэф-

* Эти кривые сняты при смещении по инфразвуку, соответствующему учетверенному номинальному смещению на частоте 500 гц.

фициентов нелинейных искажений в громкоговорителях крайне желательна возможность автоматической их записи. Метод инфразвуковой модуляции предоставляет такую возможность.

6. Измерения методом инфразвуковой модуляции не требуют особой акустической обстановки и могут выполняться практически в любых условиях.

Наряду с отмеченными достоинствами метод инфразвуковой модуляции обладает следующими недостатками.

1. Колебания подвижных систем рупорных громкоговорителей с частотой около 1 гц не создают волнового процесса в рупоре. Поэтому методом инфразвуковой модуляции нельзя измерять нелинейные искажения, возникающие в рупорах.

2. При измерениях нелинейных искажений методом инфразвуковой модуляции необходимо предварительное нормирование амплитуд смещений подвижной системы с инфразвуковой частотой относительно смещений на некоторой, соответствующим образом выбранной звуковой частоте. Такое нормирование без труда осуществляется при помощи весьма несложных приборов; однако это связано с дополнительными измерениями и потому является недостатком метода.

3. Метод инфразвуковой модуляции применим только к громкоговорителям и другим электроакустическим аппаратам, на состояние которых можно воздействовать сигналом инфразвуковой частоты: микрофонам, звукоснимателям и др. Им нельзя измерять искажения, возникающие в усилителях, трансформаторах, разделительных фильтрах. Легко, однако, понять, что этот недостаток не может сколько-нибудь серьезно дискредитировать метод применительно к громкоговорителям. Громкоговоритель как сложный электроакустический преобразователь существенно отличается по своим свойствам от прочей электроакустической аппаратуры, и поэтому возможность правильной оценки искажений в нем при помощи простой измерительной процедуры, общей для всей электроакустической аппаратуры, представляется маловероятной.

Автор пользуется случаем выразить благодарность инж. И. А. Храбан и А. Г. Смирнову за помощь в выполнении настоящей работы.

Научно-исследовательский
кино-фотоинститут
Москва

Поступила в редакцию
20 октября 1954 г.