

на высоких (низких) частотах, так как при этом улучшается баланс спектра частот и звучание становится более приятным.

2. Заметность широких пиков и провалов примерно одинакова и очень высока. При величине 5 дб они уже уверенно обнаруживаются.

3. Заметность острых пиков и провалов намного меньше, чем широких, причем узкий пик замечен больше, чем узкий провал. На низких и высоких частотах острые пики и провалы до 15 дб неуверенно замечаются слушателями.

4. Комбинации вида «пик + провал» менее заметны по сравнению со случаями частых пиков или провалов. Очевидно, что в этом случае происходит взаимная субъективная компенсация искажений.

5. Квалифицированные эксперты (звукорежиссеры) обнаруживали частотные искажения значительно точнее, чем рядовые слушатели [6].

§ 3. НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

В исследовании заметности нелинейных искажений [2] принимали участие четыре группы экспертов*. Высшую группу

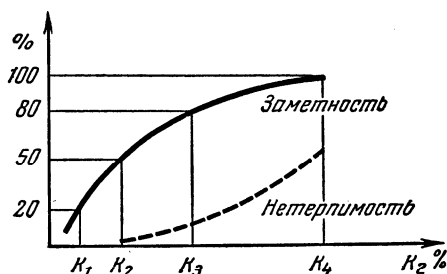


Рис. 32. Схема построения кривых заметности и нетерпимости нелинейных искажений в зависимости от коэффициента гармоник

составляли эксперты, имеющие абсолютный музыкальный слух и музыкальное образование; первую группу — имеющие музыкальный, но не абсолютный слух; вторую — имеющие острый, но не музыкальный слух; третью — прочие.

Из общего числа экспертов 20% относились к высшей группе, 30% — к первой, 30% — ко второй и 20% — к третьей.

По обработанным данным экспертиз строились кривые заметности и нетерпимости каждого вида искажений в зависимости

* Здесь рассматриваются результаты измерений заметности, выполненные ленинградской группой. Результаты исследования московской группы [7] не приводятся, так как они проводились для сравнительно высоких уровней нелинейных искажений.

от коэффициента гармоник (рис. 32). 20%-ная заметность соответствовала показаниям высшей группы экспертов, 50%-ная — показаниям первой группы, 80%-ная — второй и заметность выше 80% соответствовала показаниям группы экспертов с полным отсутствием музыкального слуха.

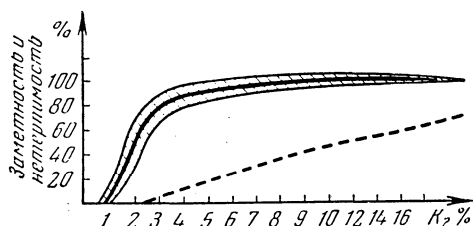


Рис. 33. Кривые заметности и нетерпимости квадратичных нелинейных искажений

При этом первые указания на нетерпимость искажений соответствовали примерно 50%-ной заметности, а 50%-ная нетерпимость примерно совпадала со 100%-ной заметностью.

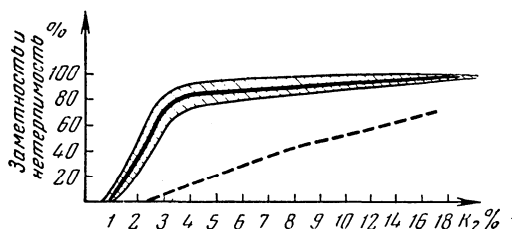


Рис. 34. Кривые заметности и нетерпимости кубических нелинейных искажений

Нелинейности всех видов и разных дозировок вводились в канал звуковоспроизведения с помощью специально разработанного магазина нелинейностей. Коэффициент гармоник измерялся в условиях подачи на канал сигнала, уровень которого равен максимально допустимому. Средний уровень воспроизведения канала был на 20 дБ ниже максимального.

На рис. 33 и 34 приведены полученные кривые заметности квадратичных и кубических искажений. Видно, что оба типа нелинейных искажений начинают уверенно различаться экспертами с абсолютным музыкальным слухом со значений примерно 1,5% (соответствует заметности 20%). Однако при равном пороге заметности 50%-ная нетерпимость кубических искажений наступает при коэффициенте гармоник, равном 9%, в то время как для квадратичных искажений этот порог соответствует коэффициенту гармоник 13%.

Кривые слышимости смешанных искажений (равное содержание второй и третьей гармоник) неожиданно показали меньшую заметность этого вида искажений по сравнению с чисто кубич...

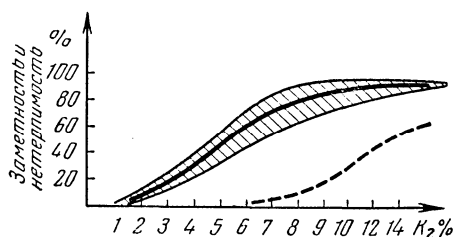


Рис. 35. Кривые заметности и нетерпимости смешанных нелинейных искажений (равное содержание 2-й и 3-й гармоник)

ными и чисто квадратичными искажениями (рис. 35). Здесь 20%-ная заметность соответствует коэффициенту гармоник около 3,5%, а 50%-ная нетерпимость — коэффициенту 14%. Достоверные причины этого парадоксального явления пока не найдены.

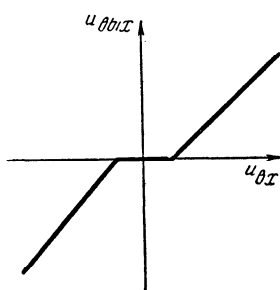


Рис. 36. Характеристика нелинейности вида «центральная отсечка»

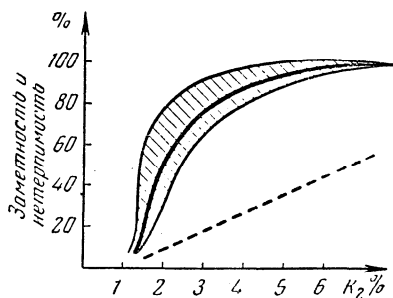


Рис. 37. Кривые заметности и нетерпимости нелинейных искажений вида «центральная отсечка»

Заметность искажений вида «центральная отсечка» (рис. 36) показана на рис. 37. Видно, что этот тип искажений более неприятен, чем предыдущие.

Заметность искажений вида «одностороннее ограничение» и «двустороннее ограничение» (рис. 38 и 39) показана на рис. 40 и 41. Поскольку одностороннее ограничение вызывает появление квадратичных и кубических искажений, а двустороннее — кубических, целесообразно сравнить данные их заметности с соответствующими данными заметности смешанных (см. рис. 35) и кубических искажений (см. рис. 34). Это сравнение показывает, что искажения при ограничении более заметны, чем обычные кубические или смешанные искажения.

До сих пор была рассмотрена заметность частотно независимых нелинейных искажений. На рис. 42 и 43 показаны результаты исследований заметности смешанных искажений, возрастающих к низким и высоким частотам диапазона звукопередачи.

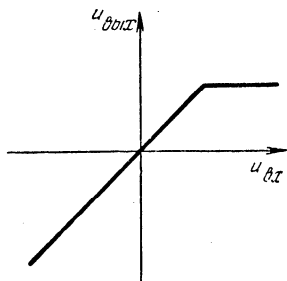


Рис. 38. Характеристика нелинейности вида «одностороннее ограничение»

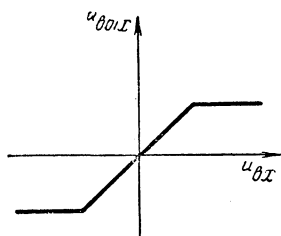


Рис. 39. Характеристика нелинейности вида «двустороннее ограничение»

Из сравнения их с данными частотно независимых смешанных искажений (см. рис. 35) видно, что заметность искажений на низких частотах меньше, чем на средних и высоких, а также

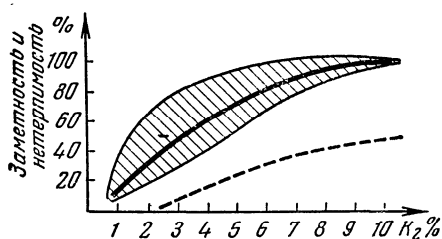


Рис. 40. Кривые заметности и нетерпимости нелинейных искажений вида «одностороннее ограничение»

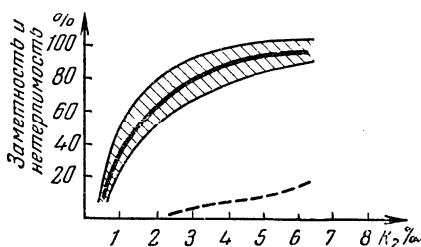


Рис. 41. Кривые заметности и нетерпимости нелинейных искажений вида «двустороннее ограничение»

что заметность искажений во многом обуславливается нелинейностью на высоких частотах. Большой разброс в показаниях экспертов о заметности нелинейных искажений на высоких частотах объясняется тем, что этот вид искажений по-разному сказывается на различных программах. Эти искажения более заметны на речевых тестах (искажения свистящих и шипящих фонем) и менее — на музыкальных.

Было найдено, что для всех видов искажений сокращение частотной полосы воспроизводимого сигнала до 100—6000 гц или введение большой неравномерности несущественно снижает заметность искажений [8]. Введение в канал посторонних помех

в виде фона с частотой 50, 100, 300 или 600 гц и белого шума также незначительно снижает заметность искажений. Снижение заметности наблюдается при таких высоких уровнях помех,

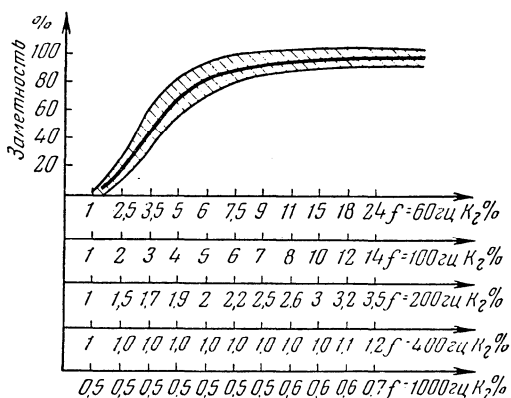


Рис. 42. Кривая заметности нелинейных искажений, возрастающих к низким частотам

которые в практических условиях исключены [9]. Интересно отметить, что исследования по слышимости нелинейных искаже-

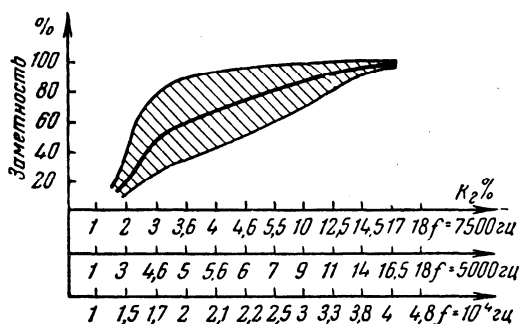


Рис. 43. Кривая заметности нелинейных искажений, возрастающих к высоким частотам

ний, выполненные в Англии, в ВВС, показали, что искажения становятся заметными при следующих коэффициентах гармоник и разностных комбинационных тонов:

Вторая гармоника

около 25% для частот ниже 100 Гц
» 3% » » 200 »

около 1%	для частот ниже	200	гц
» 1%	» » »	400	»

Третья гармоника

около 5%	для частот ниже	100	гц
» 2%	» » »	200	»
» 1%	» » »	400	»

Разностные комбинационные тона

около 20%	для частот между	100 и 200	гц
» 5%	» » »	200 и 400	»
» 2%	» » »	400 и 300	»
» 1%	» » »	800 и 6400	» [10]

Как видно, результаты английских и отечественных исследований довольно близки между собой.

Интересно, что чувствительность уха к искажениям четвертого и пятого порядков в шесть и в десять раз выше по сравнению с чувствительностью к квадратичным и кубическим искажениям [50].

§ 4. ШУМЫ

В рассматриваемой работе исследовалась заметность помех в виде фона, белого шума и импульсных помех при наличии рабочего сигнала [11, 12]. Настоящий случай не считается наиболее критичным, так как даже малые уровни рабочего сигнала сильно маскируют посторонние шумы в канале звукопередачи. Наиболее опасный с точки зрения заметности случай — это присутствие мешающих шумов в паузе рабочего сигнала. Практически, как уже говорилось выше, шумы, не связанные с рабочим сигналом, разделяются на две основные группы: шумы дискретного спектра (фоны 50, 100, 150 и 300 гц) и шумы сплошного спектра (флуктуационные шумы активных сопротивлений, ламп и транзисторов, магнитных головок и трансформаторов, звуконосителей). Поэтому заметность шумов в виде фона можно рассматривать как заметность сигналов чистых тонов.

ФОН

На рис. 44 приведена зависимость громкости сигналов частот 25, 33, 50 и 100 гц от их абсолютного уровня звукового давления [13]. Для сравнения на этом рисунке показана зависимость для сигнала 500 гц, которая почти пропорциональна.

Следовательно, если максимальный абсолютный уровень воспроизведения звука в кинотеатре составляет 80 дб, а относитель-