

Кафедра РПВЭС

Лаборатория электроакустики
и звукотехники

ВОЛОГДИН Э.И.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ЗВУКОВОМУ ВЕЩАНИЮ

Санкт Петербург
2013

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА LR-1 ВС

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРНОЙ МОДУЛЯЦИИ

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с применением компьютерной программы MathCAD13 для исследования полярной модуляции, используемой в стереофоническом ЧМ радиовещании.

2. Задание к лабораторной работе

- Ознакомиться с программой MathCad13 в объеме, необходимом для измерения характеристик полярной модуляции
- Изучить функциональную схему полярного модулятора.
- Исследовать зависимость формы полярно модулированных колебаний в моно и стерео режимах от глубины модуляции каналов.
- Исследовать зависимость формы комплексного стерео сигнала в моно и стерео режимах от глубины модуляции каналов.
- Исследовать зависимость девиации частоты от глубины полярной модуляции в моно и стерео режимах
- Составить отчет по работе и сформулировать выводы по результатам измерений

3. Функциональная схема модулятора

Наиболее часто полярную модуляцию определяют как способ передачи стереофонического сигнала на одной поднесущей частоте, при котором одним каналом осуществляется амплитудная модуляция положительной полуволны поднесущего колебания, а другим – отрицательной полуволны.

Фактически все несколько сложнее. Одним из наглядных способов осуществления

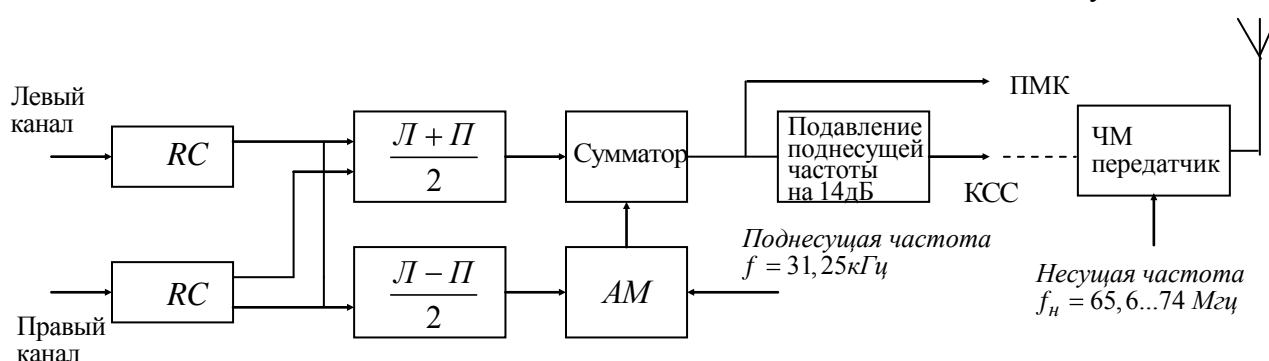


Рис.1.1. Функциональная схема полярного модулятора

полярной модуляции является схема, приведенная на рис.1.1. В ней из левого L и правого Pi каналов стерео тракта формируются полу сумма и полу разность сигналов. Разностным сигналом осуществляется амплитудная модуляция (AM) поднесущей с частотой $f = 31,25$ кГц. Затем этот AM сигнал суммируется с сигналом $(L+Pi)/2$. Это и есть полярно модулированное колебание (ПМК).

В ПМК поднесущая частота не несет звуковой информации и используется только для демодуляции стерео сигнала в радиоприемнике. Это колебание увеличивает девиацию

частоты модулятора передатчика и расширяет полосу сигнала, что ухудшает помехозащищенность. Поэтому управление частотным модулятором осуществляется комплексным стерео сигналом (КСС) . Этот сигнал отличается тем, что в нем поднесущая частота режекторным фильтром подавлена на 14 дБ (в 5 раз), что уменьшает ширину полосы стерео тракта до допустимого значения около 200 кГц. Подавить сильнее поднесущую частоту нельзя, так как возникнут проблемы демодуляции полярной модуляции из-за ухудшения отношения сигнал-шум.

RC-цепочки на входах модулятора имеют постоянную времени 50 мкс. Они предназначены для подъема АЧХ модулятора в области высоких частот в районе 15 кГц. Этим достигается некоторое улучшение отношения сигнал-шум на высоких частотах.

4. Методические указания

4.1.Стерефоническое радиовещание

Национальное моно- и стерефоническое радиовещание производится в УКВ диапазоне 66-74 МГц с частотной модуляцией несущей частоты. На каждый стерефонический канал отводится полоса частот около 200 кГц. Исторически сложилось так, что только в СССР и затем в Российской Федерации, при стерефоническом радиовещании используется полярная модуляция. В большинстве других стран, а теперь и в РФ, используется модуляция с пилот тоном.

При частотной модуляции несущей частоты спектр передаваемого сигнала тем шире, чем больше девиация несущей частоты. Для выполнения требований по полосе частот каналов максимальная девиация несущей частоты не должна превышать $D_{\max} = 50$ кГц. Частотная модуляция несущей частоты при стерефоническом звуковом вещании осуществляется специально сформированным комплексным стерефоническим сигналом КСС.

Полоса частот каналов при стерефоническом вещании составляет 30-15000 Гц. Спектр полярно-модулированного колебания состоит из двух частей: звуковая и надзвуковая. В звуковой части передается суммарный сигнал левого и правого звуковых каналов с полосой от 30 до 15000 Гц. В надзвуковой части спектра передаются продукты амплитудной модуляции поднесущей частоты разностным сигналом. Нижняя боковая полоса этого спектра 16250 - 31220 Гц, верхняя боковая полоса 31280- 46250 Гц

4.2. Полярно-модулированное колебание и комплексный стерео сигнал

Предположим, что на обоих входах модулятора действуют чисто периодические сигналы $U_a(t)$ и $U_b(t)$ с частотами F_a и F_b и соответствующими значениями амплитуд напряжений U_a и U_b

$$U_a(t) = U_a \cdot \cos 2\pi F_a t$$

$$U_b(t) = U_b \cdot \cos 2\pi F_b t ,$$

а поднесущее колебание определяется равенством

$$U(t) = U \cdot \cos 2\pi f t ,$$

где f – частота поднесущего колебания.

При выполнении лабораторной работы более удобно пользоваться нормированными значениями напряжений относительно напряжения поднесущего колебания, значения которых могут находиться в пределах только от 0 до 1. При этом приведенные выше формулы преобразуются к виду

$$V_a(t) = V_a \cdot \cos 2\pi F_a t$$

$$V_b(t) = V_b \cdot \cos 2\pi F_b t$$

$$V(t) = 1 \cdot \cos 2\pi ft,$$

где $V_a = \frac{U_a}{U}$, $V_b = \frac{U_b}{U}$. Эти нормированные значения сигналов определяют глубину полярной модуляции Ma и Mb , соответственно в левом и правом звуковых каналах.

Тогда аналитическое выражение для полярно модулированного колебания принимает вид

$$V_{pmk} = \frac{V_a(t) + V_b(t)}{2} + \left[1 + \frac{V_a(t) - V_b(t)}{2} \right] \cdot \cos 2\pi ft,$$

Комплексный стерео сигнал отличается только тем, что в нем в 5 раз уменьшена амплитуда поднесущего колебания, поэтому расчетная формула для него имеет вид

$$V_{kss} = \frac{V_a(t) + V_b(t)}{2} + \left[\frac{1}{5} + \frac{V_a(t) - V_b(t)}{2} \right] \cdot \cos 2\pi ft.$$

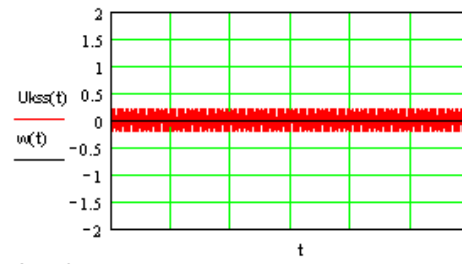
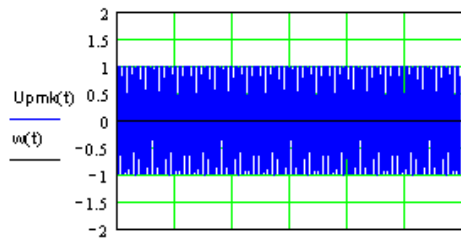
Примеры осциллограмм сигналов ПМК и КСС приведены на [рис.1.2](#).

После подстановок расчетная формула для сигнала КСС принимает вид

$$V_{kss} = \left[\begin{array}{l} \left(\frac{V_a}{2} \cos 2\pi F_a t + \frac{V_b}{2} \cos 2\pi F_b t \right) + \frac{1}{5} \cdot \cos 2\pi ft + \left(\frac{V_a}{4} \cos 2\pi(f - F_a)t + \frac{V_a}{4} \cos 2\pi(f + F_a)t \right) - \\ - \left(\frac{V_b}{4} \cos 2\pi(f - F_b)t + \frac{V_b}{4} \cos 2\pi(f + F_b)t \right) \end{array} \right] \quad 1.1)$$

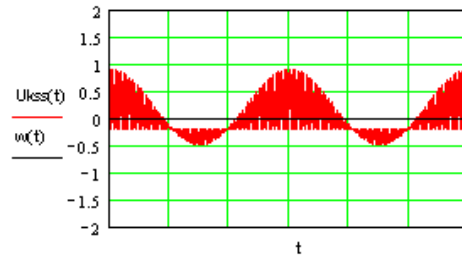
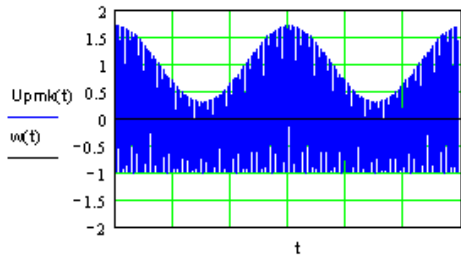
По этой формуле удобно определять амплитуды спектральных составляющих.

По стандарту в сигнале КСС остаток поднесущей составляет 20%, поэтому при формировании такого сигнала глубина полярной модуляции не может превышать 80%. Для повышения помехозащищенности в области высоких частот, где уровень спектральных составляющих звука существенно меньше, чем на средних частотах, полярная модуляция обычно производится с предискажениями с постоянной времени $\tau = 50$ мкс. Это создает подъем глубины полярной модуляции на высоких частотах.



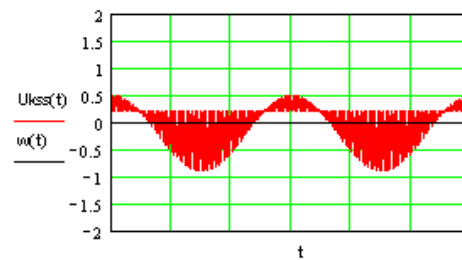
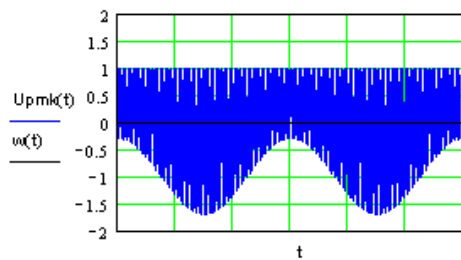
$J_{pmk} = 2$
 $J_{kss} = 0.4$

Моно, сигналов каналах нет



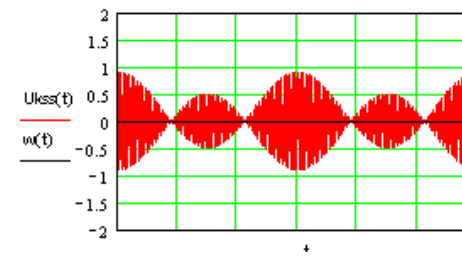
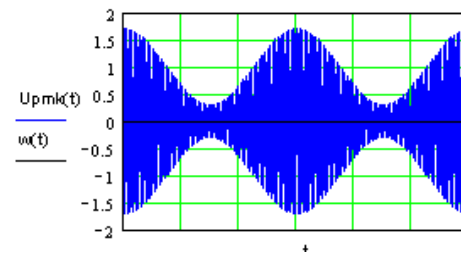
$J_{pmk} = 2.7$
 $J_{kss} = 1.1$

Моно, сигнал в левом канале



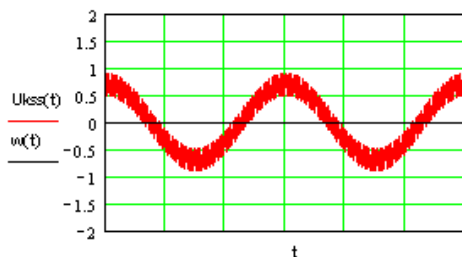
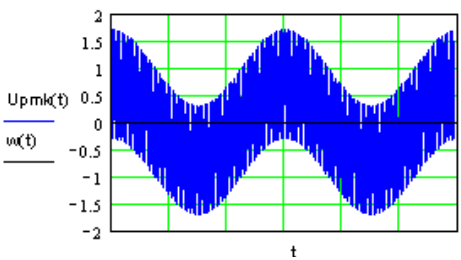
$J_{pmk} = 2.7$
 $J_{kss} = 1.1$

Моно, сигнал в правом канале



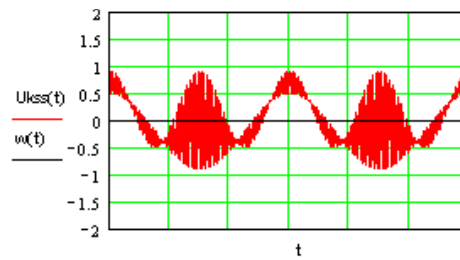
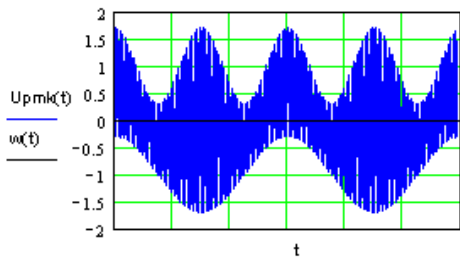
$J_{pmk} = 3.4$
 $J_{kss} = 1.8$

Моно, сигналы одинаковой частоты и амплитуды в обоих каналах - в фазе



$J_{pmk} = 3.4$
 $J_{kss} = 1.8$

Моно, сигналы одинаковой частоты и амплитуды в обоих каналах - в противофазе



$J_{pmk} = 3.4$
 $J_{kss} = 1.8$

Сtereo. Сигналы разной частоты и амплитуды в обоих каналах

Рис.1.2. Осциллограммы сигналов ПМК и КСС

4.3. Девиация несущей частоты

Величина девиации несущей частоты при частотной модуляции определяется максимальным размахом сигналов ПМК и КСС, которые рассчитываются по формулам

$$J_{pmk} = 2 + V_a + |V_b|$$

$$J_{kss} = \frac{2}{h} + V_a + |V_b|$$

где h – коэффициент подавления поднесущей (обычно он равен 5).

Режим модуляции подбирается так, чтобы при модуляции сигналом V_{kss} девиация несущей частоты ни при каких условиях не превышала 50 кГц, что соответствует полосе частот канала около 200 кГц.

Основной интерес представляет амплитуда низкочастотной девиации, определяемая только пиковыми значениями звуковых сигналов левого и правого каналов V_a и V_b . Эта девиация всегда меньше 50 кГц, поэтому в сравнении с моно режимом в режиме стерео всегда будет хуже отношение сигнал-шум, меньше уровень звукового сигнала, меньше зона обслуживания.

Для сигналов ПМК и КСС расчетное значение девиации частоты определяются формулами:

$$D_{kss} = \frac{D_{max} \cdot J_{kss}}{2}$$

$$D_{pmk} = \frac{D_{max} \cdot J_{pmk}}{2}$$

По этим формулам легко подсчитать, что при отсутствии сигналов на входах модулятора (глубина полярной модуляции равна нулю) $D_{kss} = 10$ кГц, а $D_{pmk} = 50$ кГц, что совершенно неприемлемо. Именно поэтому для модуляции используется только сигнал КСС. При этом сигнале в случае максимально допустимой глубины полярной модуляции 80% девиация достигает 50 кГц.

С девиацией несущей частоты непосредственно связан уровень громкости звучания радиоприемника, чем больше девиация, тем больше громкость. Для увеличения девиации необходимо насколько можно повышать глубину полярной модуляции и подавлять поднесущую частоту. Однако, увеличение глубины полярной модуляции свыше 0,8 приводит к недопустимому по нормам увеличению нелинейных искажений в радиоприемнике. Больше, чем в 5 раз, подавление поднесущей частоты ограничивается уровнем шумов, которые при ее малом уровне приводят к нарушению работы стереодекодера

4.5. Спектр сигнала КСС

Если в каналах стереотракта передаются гармонические сигналы разных частот, то в соответствии с формулой (1.1) спектр сигнала КСС состоит из суммы 7 спектральных составляющих (рис.1.3). Это составляющие левого и правого каналов F_a и F_b , остаток поднесущей частоты f , двух спектральных компонент верхней боковой полосы $f+F_a$ и $f+F_b$ и двух спектральных компонент нижней боковой полосы $f-F_a$ и $f-F_b$. Этот спектр условно делится на две части: звуковая (ниже 20 кГц) и надзвуковая (обусловленная продуктами амплитудной модуляции выше 20 кГц).

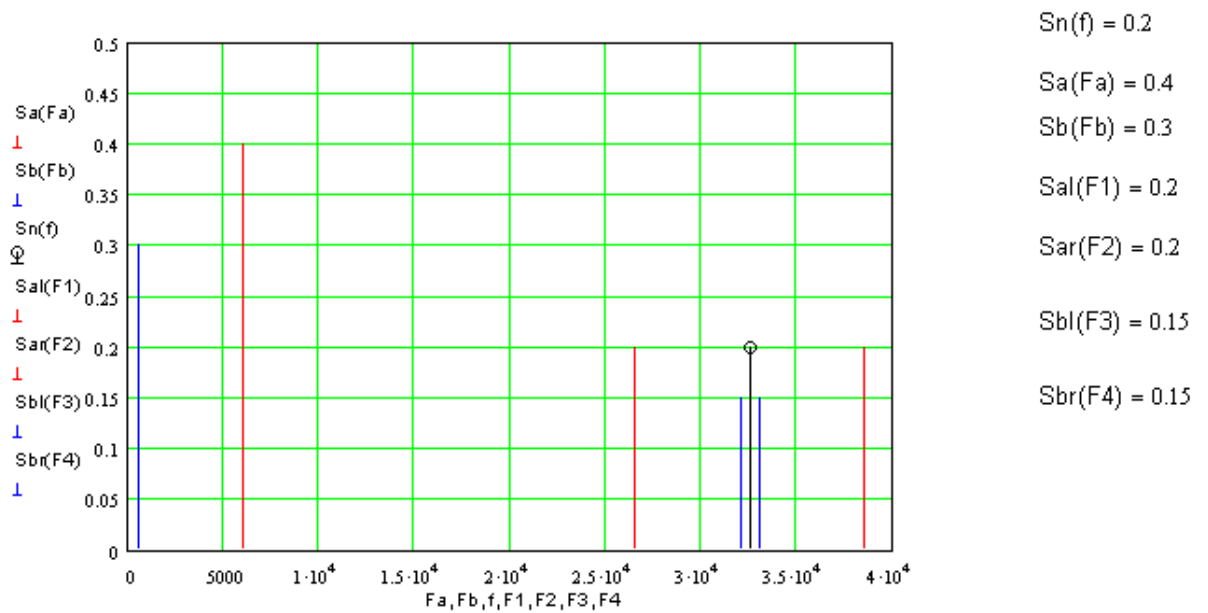


Рис.1.3. Спектр сигнала КСС в системе с полярной модуляцией

На рис. 1.3.: F_a – частота сигнала левого канала, F_b – частота сигнала правого канала, f – частота поднесущей, $F3 = f - F_a$ – частота нижней спектральной составляющей левого канала, $F4 = f - F_b$ – частота нижней спектральной составляющей правого канала, $F5 = f + F_a$ – частота верхней спектральной составляющей левого канала, $F6 = f + F_b$ – частота верхней спектральной составляющей правого канала. $S_a(F_a), S_b(F_b), S_n(f), S_{al}(F3), S_{ar}(F4), S_{bl}(F5), S_{br}(F6)$ – спектральные компоненты на указанных частотах.

Амплитуды этих составляющих спектра зависят от глубины полярной модуляции, расчет производится по формуле (1.1) с нормировкой на амплитуду поднесущей. Всегда звуковые составляющие спектра вдвое меньше сигналов на входе модулятора, а составляющие верхних и нижних боковых полос в 4 раза меньше сигналов на входе модулятора.

В этом спектре независимо от глубины полярной модуляции спектральные компоненты звуковой части спектра всегда вдвое больше спектральных компонент надзвуковой части спектра.

При работе стереоприемника в монофоническом режиме используются только звуковая часть спектра полярной модуляции. При проведении измерений в монофоническом режиме, когда в обоих каналах сигнал одной частоты, фазы и амплитуды, при этом $M_a = M_b$ и коэффициент амплитудной модуляции $M = 0,5(M_a - M_b)$ равен нулю, поэтому в спектре вообще отсутствуют спектральные компоненты боковых полос.

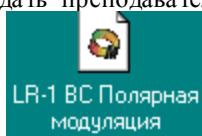
Когда в монофоническом режиме в обоих каналах сигналы одной частоты и амплитуды, но с фазовым сдвигом 180 град, то при этом $M_b = -M_a$ и коэффициент амплитудной модуляции $M = 0,5(M_a + M_b)$ максимален, но спектральные низкочастотные компоненты противофазны, и поэтому в спектре они отсутствуют.

5. Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. Подготовка к измерениям

- Скопируйте с рабочего стола файл «Отчет LR-1 ВС» на свою флешку, дайте ему свое имя в виде: «Группа»_ «Фамилия (работавшего на клавиатуре)»_ «Номер ЛР»_ «Дата».
- Откройте этот файл и сверните его окно.

В файл этого отчета вы будете копировать все экспериментальные графики, и заносить в таблицы отчета результаты измерений сразу в процессе их получения. В день выполнения лабораторной работы отчет в электронном виде необходимо сдать преподавателю, только тогда работа считается выполненной.



- Кнопкой с пиктограммой откройте окно программы MathCad LR-1 ВС «Полярная модуляция» (рис.1.4).

- В этой программе условные обозначения были рассмотрены раньше. Амплитуда поднесущей частоты V принята равной 1, амплитуды сигналов в левом и правом каналах V_a и V_b задаются в относительных величинах (в долях амплитуды V от 0 до 0,8). Частоты выбираются в диапазоне от 30 до 15000 Гц.

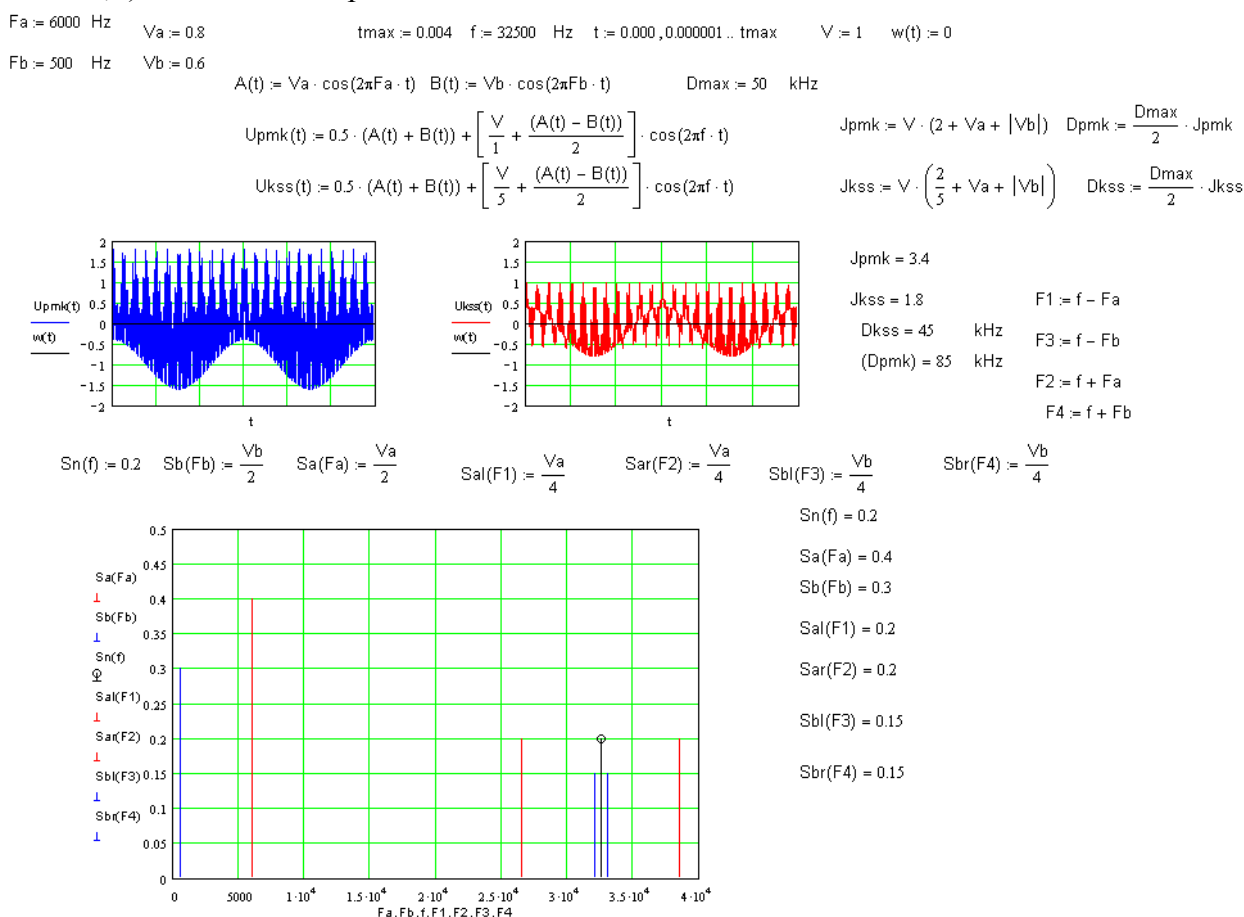


Рис.1.4. Окно программы «Исследование полярной модуляции».


В этой программе используются следующие обозначения: F_a – частота сигнала левого канала, F_b – частота сигнала правого канала, f – частота поднесущей, $F3 = f - F_a$ – частота нижней спектральной составляющей левого канала, $F4 = f - F_b$ –

частота нижней спектральной составляющей правого канала, $F5 = f + F_a$ – частота верхней спектральной составляющей левого канала, $F6 = f + F_b$ – частота верхней спектральной составляющей правого канала. $S_a(F_a), S_b(F_b), S_n(f), S_{al}(F3), S_{ar}(F4), S_{bl}(F5), S_{br}(F6)$ – спектральные компоненты на указанных частотах.

Амплитуда поднесущей частоты V принята равной 1, амплитуды сигналов в левом и правом каналах V_a и V_b задаются в относительных величинах (в долях амплитуды V от 0 до 0,8). Частоты выбираются в диапазоне от 30 до 15000 Гц.

5.2. Исследование осциллограмм сигналов ПМК и КСС

5.2.1. Моно. Проверяется коэффициент подавления поднесущей.

Установить $V_a = V_b = 0$, частоты любые и в строке команд нажать кнопку с пиктограммой . По этой команде вычисляются значения $J_{pmk}, J_{kss}, D_{pmk}, D_{kss}$ и строятся осциллограммы сигналов ПМК и КСС. Вычисля разность $J_{pmk} - J_{kss}$, определите насколько подавлена поднесущая в сигнале КСС, запомните результат.

- Скопируйте сигналограммы в Ваш отчет.

Для этого левой рукой нажмите на клавиатуре кнопку **Shift**, а левой клавишей мышки нажмите на изображения объектов, которые вы хотите копировать. По этим командам появятся вокруг объектов штриховые прямоугольники (рис.1.5.). Нажмите правую клавишу мышки и в выпадающем меню выберите **Сору**. Далее откройте Ваш отчет, скопируйте в него рисунок и подпишите его название.

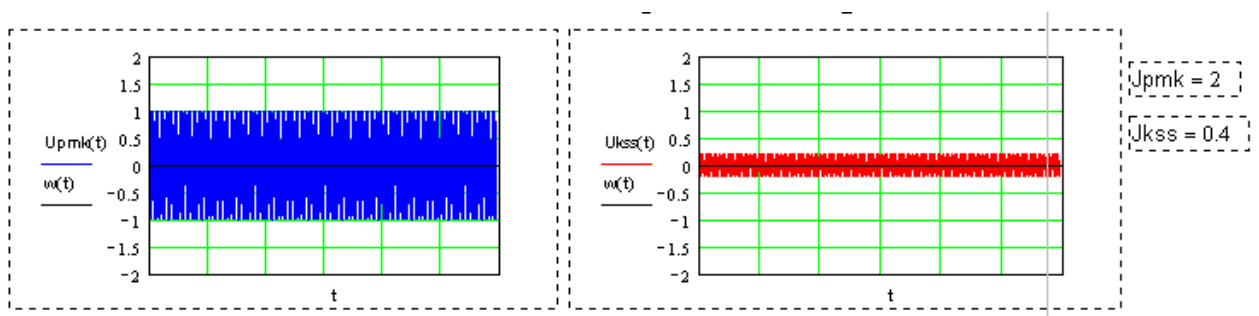


Рис.1.5. Подавление поднесущей – копирование графиков

5.2.2. **Моно – сигнал только в левом канале.** Установить $V_a = 0,6, V_b = 0$, частоты любые. Повторите измерения по п. 5.2.1. Скопируйте сигналограммы в Ваш отчет.

5.2.3. **Моно – сигнал только в правом канале.** Установить $V_a = 0,0, V_b = 0,6$ частоты любые. Повторите измерения по п. 5.2.1. Скопируйте сигналограммы в Ваш отчет.

5.2.4. **Моно – сигналы в правом и левом каналах в фазе.** Установить $V_a = 0,6, V_b = 0,6$, частоты одинаковые. Повторите измерения по п. 5.2.1. Скопируйте сигналограммы в Ваш отчет.


5.2.4. **Моно – сигналы в правом и левом каналах в фазе.** Установить $V_a = 0,6, V_b = 0,6$, частоты одинаковые. Повторите измерения по п. 5.2.1. Скопируйте сигналограммы в Ваш отчет.

5.2.5. **Моно – сигналы в правом и левом каналах в противофазе.** Установить $V_a = 0,6, V_b = -0,6$ (знак минус означает противофазность), частоты одинаковые. Повторите измерения по п. 5.2.1. Скопируйте сигналограммы в Ваш отчет.

5.2.6. **Стерео.** Установить $V_a = 0,6, V_b = 0,8$, частоты разные, например, $F_a = 500$ Гц $F_b = 1000$ Гц. Повторите измерения по п. 5.2.1. Скопируйте сигналограммы в Ваш отчет.

5.3. Исследование спектра сигналов КСС в режиме стерео

В разработанной программе измерение спектра сигнала КСС производится одновременно с расчетами осциллограмм сигналов ПМК и КСС.

- Для измерения спектра достаточно установить значения Va, Vb, Fa и Fb и нажать кнопку на панели управления с пиктограммой . Копируется спектр в отчет также как и осциллограммы (рис.1.5).
- Снимите спектры по данным табл.1.1

| Fa , Гц | Va | Fb , Гц | Vb |
|-----------|------|-----------|------|
| 500 | 0.8 | 5000 | 0.8 |
| 1000 | 0,8 | 1000 | 0 |
| 1000 | 0 | 2000 | 0 |
| 500 | 0.8 | 1000 | 0.1 |


- Скопируйте графики спектров в Ваш отчет.

Для этого левой рукой нажмите на клавиатуре кнопку **Shift**, а левой клавишей мышки нажмите на изображения объектов, которые вы хотите копировать. По этим командам появятся вокруг объектов штриховые прямоугольники (рис.1.5). Нажмите правую клавишу мышки и в выпадающем меню выберите **Сору**.

Далее откройте Ваш отчет, скопируйте в него рисунок и подпишите его название.

5.4. Исследование зависимости девиации частоты от глубины полярной модуляции

В разработанной программе расчет девиации частота производится одновременно с расчетами осциллограмм сигналов ПМК и КСС.

- Поэтому для измерения девиации достаточно установить значения Va, Vb , приведенные в табл.1.2, задать любые частоты Fa и Fb , затем нажать кнопку на панели управления с пиктограммой .
- Результаты измерений занесите в табл.1.2 и сформулируйте выводы

| Va | Vb | $Jkss$ | $Jpmk$ | $Dkss$ | $Dpmk$ |
|------|------|--------|--------|--------|--------|
| 0 | 0 | | | | |
| 0 | 0,8 | | | | |
| 0,4 | 0.4 | | | | |
| 0,8 | 0.8 | | | | |

6. Контрольные вопросы

1. Основные характеристики стереофонического ЧМ вещания (диапазон частот, полоса каналов, девиация частоты)
2. Что такое полярная модуляция
3. Что такое коэффициент глубины полярной модуляции и как он определяется
4. Зачем производится частичное подавление поднесущей частоты в сигнале ПМК, почему подавление равно 14 дБ, не больше и не меньше
5. Чем отличаются сигналы КСС и ПМК
6. Для каких целей можно использовать сигнал ПМК
7. Функциональная схема формирователя сигналов КСС и ПМК

8. Какой вид имеет спектр ПМК в режиме стерео, чем отличается спектр КСС. Как зависит спектр ПМК от глубины полярной модуляции в каналах
9. Чем отличаются осциллограммы ПМК и КСС в режиме стерео
10. Какой вид имеет осциллограмма надзвуковой составляющей сигналов ПМК в режиме стерео
11. Почему максимальная глубина полярной модуляции не должна быть больше 80%
12. Почему девиация частоты не должна превышать 50 кГц. Чему равна низкочастотная девиация частоты, обусловленная сигналами стереоканалов для ПМК и КСС

7. Содержание отчета

- 7.1. Титульный лист
- 7.2. Цель работы
- 7.3. Задание к лабораторной работе
- 7.4. Функциональная схема измерений
- 7.5. Результаты измерений в виде графиков
- 7.6. Таблицы с результатами измерений и расчетов
- 7.7. Выводы по результатам измерений

8. Литература

1. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов/ И.А.Алдошина, Э.И.Вологдин, А.П.Ефимов, и др.; Под ред. Ю.А.Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007.- 872 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА LR-2 ВС

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯТОРА С ПИЛОТ-ТОНОМ

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с применением компьютерной программы MathCAD13 для исследования основных технических характеристик модуляции в системе с пилот тоном, используемой в стереофоническом ЧМ радиовещании.

2. Задание к лабораторной работе

- Ознакомиться с программой MathCad13 в объеме, необходимом для измерения характеристик модуляции в системе стереофонического радиовещания в системе с пилот тоном
- Изучить функциональную схему модулятора, используемого в системе с пилот тоном
- Исследовать зависимость спектра сигнала КСС в системе с пилот тоном от глубины модуляции поднесущей частоты.
- Исследовать зависимость девиации несущей частоты в системе с пилот тоном от глубины модуляции поднесущей частоты
- Составить отчет по работе и сформулировать выводы по результатам измерений

3. Функциональная схема модулятора

Отличия функциональных схем модуляторов с полярной модуляцией и с использованием пилот тона очень малы. На [рис.2.1](#) приведена упрощенная схема

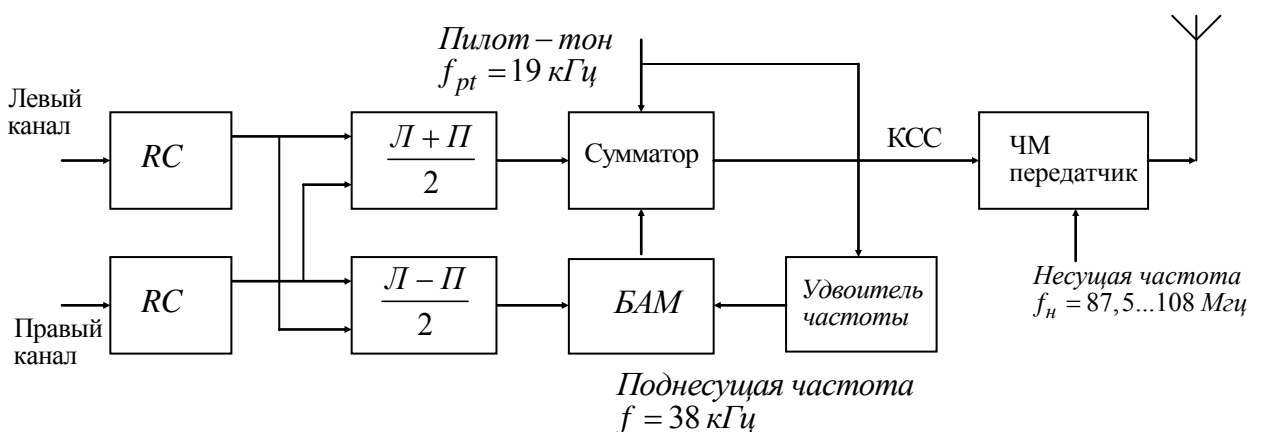


Рис.2.1. Функциональная схема модулятора в системе с пилот-тоном

модулятора с пилот тоном. В ней, как и в обычном полярном модуляторе, из левого L и правого P каналов стерео тракта формируются полу сумма и полу разность звуковых сигналов.

Отличие прежде всего в том, что разностным сигналом $(L-P)/2$ осуществляется балансная амплитудная модуляция (БАМ) поднесущей с частотой $f = 38 \text{ кГц}$. Важно, что

при такой модуляции частота f подавляется на 40...50 дБ, то есть в формируемом комплексном стерео сигнале (КСС) она полностью отсутствует.

Сигнал без поднесущей в радиоприемнике невозможно декодировать, поэтому в сигнал КСС вводится тональный сигнал (пилот-тон) с частотой 19 кГц, вдвое ниже частоты f . В схеме на [рис.2.1](#). эта частота формируется путем удвоения частоты пилот тона f_{pt} . Амплитуда пилот тона принята равной 0,1 амплитуды поднесущей частоты, что позволяет увеличивать глубину модуляции до 90%. В радиоприемнике пилот тон используется для восстановления поднесущей частоты.

Для формирования КСС сигнал с БАМ суммируется с сигналом $(Л+П)/2$ и пилот тоном. Этим комплексным сигналом осуществляется частотная модуляция несущей частоты передатчика.

РС-цепочки на входах модулятора имеют постоянную времени 50 или 75 мкс. Они предназначены для подъема АЧХ модулятора в области высоких частот в районе 15 кГц. Этим достигается некоторое улучшение отношения сигнал-шум на высоких частотах.

4. Методические указания

4.1.Стереофоническое радиовещание

Исторически сложилось так, что только в СССР и затем в Российской Федерации, при стереофоническом радиовещании используется полярная модуляция. В большинстве других стран, а теперь и в РФ, используется модуляция с пилот тоном. Система с пилот тоном работает в частотном диапазоне 87,5...108 МГц с частотной модуляцией несущей частоты. На каждый стереофонический канал отводится полоса частот около 250 кГц.

При частотной модуляции несущей частоты спектр передаваемого сигнала тем шире, чем больше девиация несущей частоты. Для выполнения требований по полосе частот каналов максимальная девиация несущей частоты не должна превышать $D_{max} = 75$ кГц. Частотная модуляция несущей частоты при стереофоническом вещании осуществляется специально сформированным комплексным стереофоническим сигналом КСС.

Полоса частот каналов при стереофоническом вещании с пилот тоном составляет 40-15000 Гц.

Спектр модулирующего колебания состоит из двух частей: звуковая (ниже 20 кГц) и надзвуковая (выше 20 кГц). В звуковой части передается суммарный сигнал левого и правого звуковых каналов с полосой от 40 до 15000 Гц. В надзвуковой части спектра передаются продукты амплитудной балансной модуляции поднесущей частоты разностным сигналом. Нижняя боковая полоса этого спектра 23000 - 37960 Гц, верхняя боковая полоса 38040- 53000 Гц

4.2. Комплексный стерео сигнал в системе с пилот тоном

Для вывода расчетных формул предположим, что на обоих входах модулятора системы с пилот тоном действуют чисто периодические сигналы $U_a(t)$ и $U_b(t)$ с частотами F_a и F_b и соответствующими значениями амплитуд напряжений U_a и U_b

$$U_a(t) = U_a \cdot \cos 2\pi F_a t$$

$$U_b(t) = U_b \cdot \cos 2\pi F_b t ,$$

Поднесущее колебание и пилот тон определяются равенствами

$$U(t) = U \cdot \cos 2\pi ft ,$$

$$U(t)_{pt} = U_{pt} \cdot \cos \pi ft$$

где f – частота поднесущего колебания.

При выполнении лабораторной работы более удобно пользоваться нормированными значениями напряжений относительно напряжения поднесущего колебания, значения которых могут находиться в пределах только от 0 до 1. При этом приведенные выше формулы преобразуются к виду

$$V_a(t) = V_a \cdot \cos 2\pi F_a t$$

$$V_b(t) = V_b \cdot \cos 2\pi F_b t$$

$$V(t) = \cos 2\pi ft$$

$$V(t)_{pt} = 0.1 \cdot \cos \pi ft$$

где $V_a = \frac{U_a}{U}$, $V_b = \frac{U_b}{U}$. Эти нормированные значения сигналов определяют глубину модуляции Ma и Mb , соответственно в левом и правом звуковых каналах.

Тогда аналитическое выражение для сигнала КСС с пилот тоном принимает вид

$$V_{ksspt} = \frac{V_a(t) + V_b(t)}{2} + \left[\frac{1}{100\dots 1000} + \frac{V_a(t) - V_b(t)}{2} \right] \cdot \cos 2\pi ft + 0.1 \cdot \cos \pi ft.$$

После подстановок расчетная формула для сигнала КСС принимает вид

$$V_{ksspt} = \left[\begin{aligned} & \left(\frac{V_a}{2} \cos 2\pi F_a t + \frac{V_b}{2} \cos 2\pi F_b t \right) + \frac{\cos 2\pi ft}{100\dots 1000} + \left(\frac{V_a}{4} \cos 2\pi(f - F_a)t + \frac{V_a}{4} \cos 2\pi(f + F_a)t \right) - \\ & - \left(\frac{V_b}{4} \cos 2\pi(f - F_b)t + \frac{V_b}{4} \cos 2\pi(f + F_b)t \right) + 0.1 \cdot \cos \pi ft \end{aligned} \right] \quad (2.1)$$

По этой формуле удобно определять амплитуды спектральных составляющих

По стандарту в сигнале КСС остаток поднесущей частоты f составляет 10%, поэтому при формировании такого сигнала глубина полярной модуляции не может превышать 90%. Для повышения помехозащищенности в области высоких частот, где уровень спектральных составляющих звука существенно меньше, чем на средних частотах, полярная модуляция обычно производится с предискажениями с постоянной времени 50 или 75 мкс. Это создает подъем глубины полярной модуляции на высоких частотах.

4.3. Девияция несущей частоты

Величина девииции несущей частоты при частотной модуляции определяется максимальным размахом сигнала КСС, который при модуляции в системе с пилот тоном определяется равенством

$$J_{ksspt} = \frac{2}{100\dots 1000} + V_a + |V_b| + 0.1$$

Режим модуляции подбирается так, чтобы при частотной модуляции девииция несущей частоты ни при каких условиях не превышала 75 кГц, что соответствует допустимой полосе частот канала около 250 кГц.

Основной интерес представляет амплитуда низкочастотной девииции, определяемая только пиковыми значениями звуковых сигналов левого и правого каналов V_a и V_b . Эта девииция всегда меньше 75 кГц, поэтому в сравнении с моно режимом в режиме стерео

всегда будет хуже отношение сигнал-шум, меньше уровень звукового сигнала, меньше зона обслуживания.

Расчетное значение девиации частоты определяется формулой

$$D_{ksspt} = \frac{D_{\max} \cdot J_{ksspt}}{2}$$

По этой формуле легко подсчитать, что при отсутствии сигналов на входах модулятора с пилот тоном девиация частоты несущей не превышает 7,5 кГц. При максимальной глубине модуляции 90% девиация несущей частоты достигает 75 кГц.

С девиацией несущей частоты непосредственно связан уровень громкости звучания радиоприемника, чем больше девиация, тем больше громкость. Для увеличения девиации необходимо насколько можно повышать глубину модуляции. Однако, увеличение глубины модуляции свыше 0,9 приводит к недопустимому по нормам увеличению нелинейных искажений в радиоприемнике.

4.4. Спектр сигнала КСС в системе с пилот тоном

Если в каналах стерео тракта передаются гармонические сигналы разных частот, то в соответствии с формулой (1.1) спектр сигнала КСС состоит из суммы 7 спектральных составляющих. (рис.2.2) Это составляющие левого и правого каналов F_a и F_b , пилот тона f_{pt} , двух спектральных компонент верхней боковой полосы $f+F_a$ и $f+F_b$ и двух

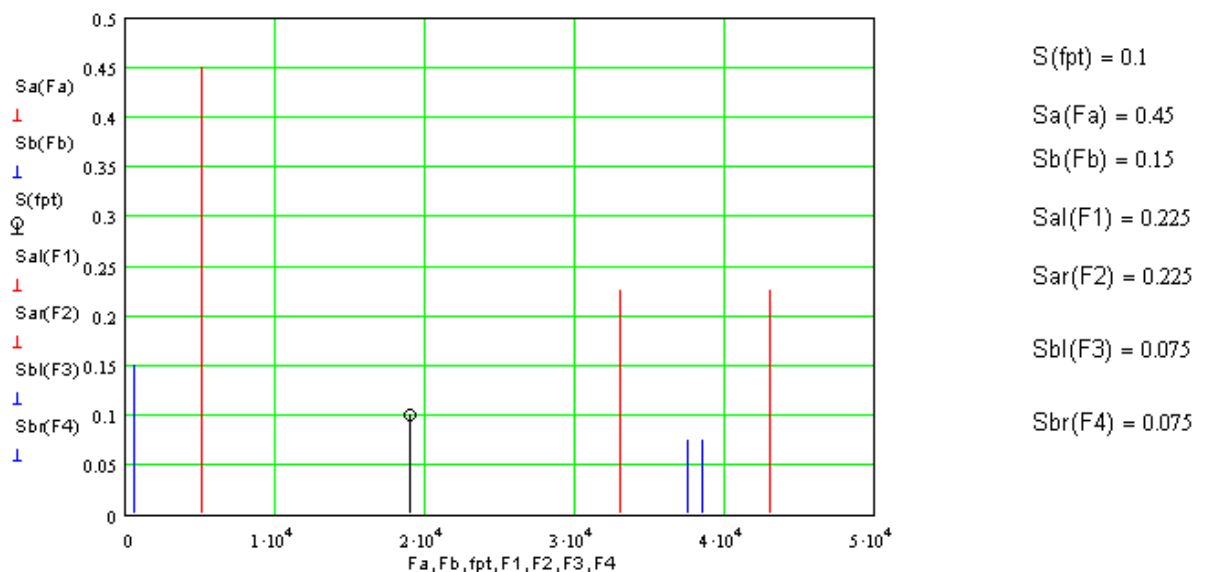


Рис.2.2. Спектр сигнала КСС в системе с пилот тоном

спектральных компонент нижней боковой полосы $f-F_a$ и $f-F_b$. Этот спектр условно делится на

две части: звуковая и надзвуковая (обусловленная продуктами амплитудной модуляции).

На рис. 2.2.: F_a – частота сигнала левого канала, F_b – частота сигнала правого канала, f – частота поднесущей, $F_3 = f - F_a$ – частота нижней спектральной составляющей левого канала, $F_4 = f - F_b$ – частота нижней спектральной составляющей правого канала, $F_5 = f + F_a$ – частота верхней спектральной составляющей левого канала, $F_6 = f + F_b$ – частота верхней спектральной составляющей правого канала.

$S_a(F_a), S_b(F_b), S(f_{pt}), S_a(F_3), S_a(F_4), S_b(F_5), S_b(F_6)$ – спектральные компоненты на указанных частотах.

Амплитуды этих составляющих спектра зависят от глубины модуляции поднесущей частоты, расчет производится по формуле (2.1) с нормировкой на амплитуду поднесущей. Всегда звуковые составляющие спектра вдвое меньше сигналов на входе модулятора, а составляющие верхних и нижних боковых полос в 4 раза меньше сигналов на входе модулятора.

Это значит, что в этом спектре независимо от глубины модуляции поднесущей частоты спектральные компоненты звуковой части спектра всегда вдвое больше спектральных компонент надзвуковой части спектра. Составляющая спектра поднесущей частоты всегда близка к нулю, а спектральная составляющая пилот тона равна всегда 0,1 от напряжения поднесущего колебания.

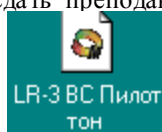
При работе стерео приемника в монофоническом режиме используются только звуковая часть спектра сигнала КСС.

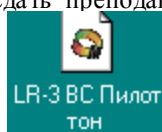
5. Порядок выполнения лабораторной работы

5.1. Подготовка к измерениям

- Скопируйте с рабочего стола файл «Отчет LR-2 ВС» на свою флешкарту, дайте ему свое имя в виде: «Группа»_ «Фамилия (работавшего на клавиатуре)»_ «Номер ЛР»_ «Дата».
- Откройте этот файл и сверните его окно.

В файл этого отчета вы будете копировать все экспериментальные графики, и заносить в таблицы отчета результаты измерений сразу в процессе их получения. В день выполнения лабораторной работы отчет в электронном виде необходимо сдать преподавателю, только тогда работа считается выполненной.



- Кнопкой с пиктограммой  откройте окно программы MathCad LR-2 ВС «Исследование модуляции с пилот тоном» (рис.2.3.). В этой программе условные обозначения были рассмотрены раньше. Амплитуда поднесущей частоты V принята равной 1, амплитуда пилот тона равна 0,1. Амплитуды сигналов в левом и правом каналах V_a и V_b задаются в относительных величинах (в долях амплитуды V от 0 до 0,9. Они же определяют глубину модуляции в звуковых каналах. Частоты выбираются в диапазоне от 40 до 15000 Гц.

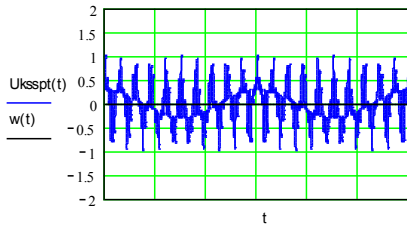
$F_a := 5000 \text{ Hz}$ $V_a := 0.9$ $t_{max} := 0.004$ $f := 38000 \text{ Hz}$ $t := 0.000, 0.000001, t_{max}$ $V := 1$ $w(t) := 0$ $V_{pt} := 0.1$
 $F_b := 500 \text{ Hz}$ $V_b := 0.3$

$$A(t) := V_a \cdot \cos(2\pi F_a \cdot t) \quad B(t) := V_b \cdot \cos(2\pi F_b \cdot t)$$

$$U_{ksspt}(t) := 0.5 \cdot (A(t) + B(t)) + \left[\frac{V}{1000} + \frac{(A(t) - B(t))}{2} \right] \cdot \cos(2\pi f \cdot t) + V_{pt} \cdot \cos(\pi \cdot f \cdot t)$$

$$D_{max} := 75 \text{ kHz}$$

$$J_{ksspt} := V \cdot \left(\frac{2}{1000} + V_a + |V_b| + 2 \cdot 0.1 \right)$$



$$J_{ksspt} = 1.402$$

$$(D_{ksspt}) = 52.575 \text{ kHz}$$

$$D_{ksspt} := \frac{D_{max}}{2} \cdot J_{ksspt}$$

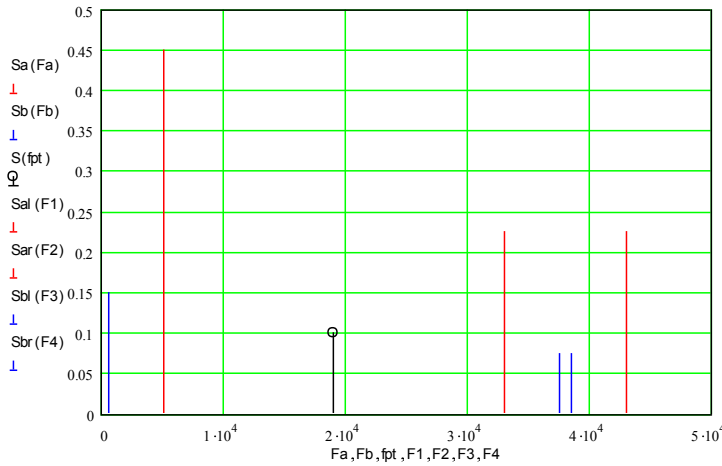
$$f_{pt} := \frac{f}{2}$$

$$F1 := f - F_a \quad F2 := f + F_a$$

$$F3 := f - F_b \quad F4 := f + F_b$$

$$f_{pt} := \frac{f}{2}$$

$$S(f_{pt}) := 0.1 \quad S_b(F_b) := \frac{V_b}{2} \quad S_a(F_a) := \frac{V_a}{2} \quad S_{al}(F1) := \frac{V_a}{4} \quad S_{ar}(F2) := \frac{V_a}{4} \quad S_{bl}(F3) := \frac{V_b}{4} \quad S_{br}(F4) := \frac{V_b}{4}$$



$$S(f_{pt}) = 0.1$$

$$S_a(F_a) = 0.45$$

$$S_b(F_b) = 0.15$$

$$S_{al}(F1) = 0.225$$

$$S_{ar}(F2) = 0.225$$

$$S_{bl}(F3) = 0.075$$


$$S_{br}(F4) = 0.075$$

Рис.2.3. Окно программы «Исследование модуляции в системе с пилот тоном».

На этом рисунке используются следующие обозначения: F_a – частота сигнала левого канала, F_b – частота сигнала правого канала, f – частота поднесущей, $F3 = f - F_a$ – частота нижней спектральной составляющей левого канала, $F4 = f - F_b$ – частота нижней спектральной составляющей правого канала, $F5 = f + F_a$ – частота верхней спектральной составляющей левого канала, $F6 = f + F_b$ – частота верхней спектральной составляющей правого канала. $S_a(F_a), S_b(F_b), S_n(f), S_{la}(F3), S_{ra}(F4), S_{lb}(F5), S_{rb}(F6)$ – спектральные компоненты на указанных частотах.

5.2. Исследование спектра сигналов КСС в системе с пилот тоном

В разработанной программе измерение спектра сигнала КСС производится одновременно с расчетами девиации частоты.

- Для измерения спектра достаточно установить значения V_a, V_b, F_a и F_b и нажать кнопку на панели управления с пиктограммой .
- Снимите спектры по данным [табл.2.1](#)

| N/N | F_a | F_b | V_a (Ma) | V_b (Mb) | V_{al} | V_{ar} | V_{bl} | V_{br} | V_{pt} |
|-----|-------|-------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | 500 | 5000 | 0 | 0 | | | | | |
| 2 | 1000 | 4000 | 0.9 | 0.9 | | | | | |
| 3 | 200 | 10000 | 0.8 | 0.2 | | | | | |
| 4 | 5000 | 500 | 0.2 | 0.8 | | | | | |
| 5 | 1000 | 2000 | 0.1 | 0.5 | | | | | |
| 6 | 2000 | 1000 | 0.5 | 0.5 | | | | | |

- Скопируйте графики 1, 2, 4 спектров в Ваш отчет.

Для этого левой рукой нажмите на клавиатуре кнопку **Shift**, а левой клавишей мышки нажмите на изображения объектов, которые вы хотите копировать. По этим командам появятся вокруг объектов

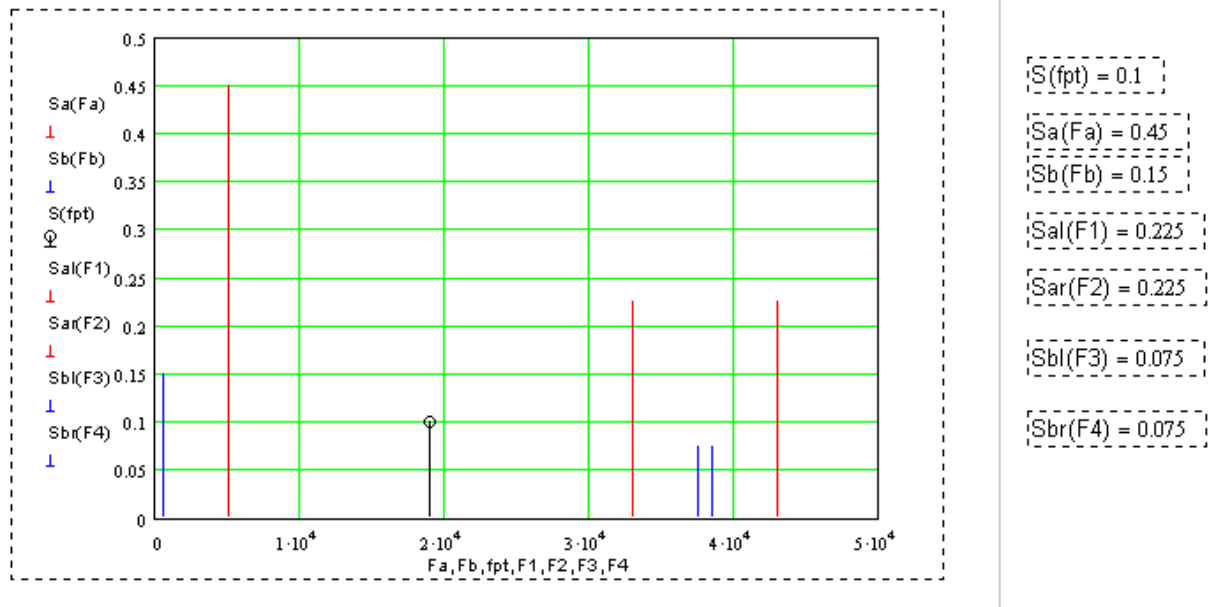



Рис. 2.4. Копирование рисунков

штриховые прямоугольники (рис.2.4). Нажмите правую клавишу мышки и в выпадающем меню выберите **Сору**. Далее откройте Ваш отчет, скопируйте в него рисунок и подпишите его название.

5.3. Исследование зависимости девиации частоты от глубины модуляции

В разработанной программе расчет девиации частота производится одновременно с расчетами спектра КСС.

- Для измерения девиации достаточно установить значения V_a, V_b , приведенные в табл.2.1, задать любые частоты F_a и F_b и нажать кнопку на панели управления с пиктограммой .
- Результаты измерений занесите в табл.2.2 и сформулируйте выводы.

| V_a (Ma) | V_b (Mb) | Jksspt | Dksspt |
|------------|------------|--------|--------|
| 0 | 0 | | |
| 0,9 | 0,9 | | |
| 0,8 | 0,2 | | |
| 0,2 | 0,1 | | |

6. Контрольные вопросы:

1. Основные характеристики стереофонического ЧМ вещания в системе с пилот тоном (диапазон частот, полоса каналов, девиация частоты)
2. Что такое модуляция с пилот тоном
3. Что такое коэффициент глубины модуляции частоты, и как он определяется
4. Назначение сигнала пилот тона
5. Функциональная схема формирователя сигналов КСС в системе с пилот тоном
6. Какой вид имеет спектр КСС в системе с пилот тоном. Как он зависит от глубины модуляции
7. Почему максимальная глубина модуляции не должна быть больше 90%
8. Почему девиация частоты не должна превышать 75 кГц. Как зависит девиация от глубины модуляции

7. Содержание отчета

- 7.1. Титульный лист
- 7.2. Цель работы
- 7.3. Задание к лабораторной работе
- 7.4. Функциональная схема измерений
- 7.5. Результаты измерений в виде графиков
- 7.6. Таблицы с результатами измерений и расчетов
- 7.7. Выводы по результатам измерений

8. Литература

1. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов/ И.А.Алдошина, Э.И.Вологдин, А.П.Ефимов, и др.; Под ред. Ю.А.Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007.- 872 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА LR-3 ВС

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАНДЕРНОЙ СИСТЕМЫ ШУМОПОНИЖЕНИЯ DOLBY-B

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение принципа действия компандерной системы шумопоniżения (КСШП) и ее основных статических и динамических параметров с использованием компьютерной программы SpectraLab

2. Задание к лабораторной работе

- Ознакомиться с программой SpectraLab в объеме, необходимом для исследования статических и динамических характеристик компандерной системы шумопоniżения (КСШП) *Dolby-B*.
- Ознакомиться с функциональной схемой и алгоритмом работы *Dolby-B*.
- Исследовать статические амплитудные характеристики *Dolby-B*.
- Исследовать статические амплитудно-частотные характеристики *Dolby-B* при разных уровнях входного звукового сигнала (ЗС).
- Исследовать динамические характеристики *Dolby-B*.
- Сформулировать выводы и составить отчет по лабораторной работе

3. Функциональная схема измерений

На [рис.3.1](#) приведена функциональная схема макета компандерной системы шумопоniżения. Она включает в себя компрессор, канал передачи и экспандер. На вход макета тестовые сигналы подаются со звуковой карты, с выхода макета сигналы подаются

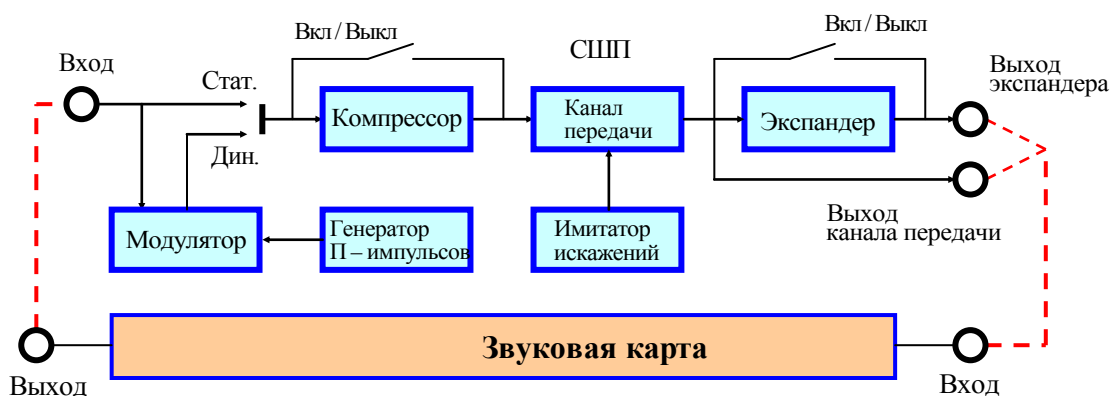


Рис.3.1. Функциональная схема измерений

на вход звуковой карты. С ее помощью измеряются статические амплитудные характеристики, амплитудно-частотные характеристики компрессора, экспандера и сквозного канала, а также отношение сигнал/шум в различных частях тракта.

Макет разработан и изготовлен к.т.н. Козодоем С.В. Он позволяет вводить в канал передачи шум, амплитудные и частотные искажения. Для измерения динамических искажений на вход подается высокочастотный сигнал, который модулируется низкочастотной последовательностью прямоугольных импульсов, формируемых генератором П-импульсов.

В макете компрессор может включаться и выключаться отдельно. Переключатель СШП одновременно выключает компрессор и экспандер. При этом включенным остается только канал передачи с введенными в него искажениями и шумом. С помощью переключателей можно отдельно измерять характеристики компрессора, экспандера, канала передачи и сквозного тракта.

4. Методические указания

4.1. Основные характеристики Dolby-B

Основной характеристикой *аналоговых трактов* передачи звуковой информации является отношение сигнал/шум, которое в технической литературе обозначается как *SNR* (*Signal to Noise Ratio*) и измеряется в децибелах. Значение *SNR* определяется как отношение максимально допустимого по искажениям эффективного значения ЗС к эффективному значению шума канала. Таким образом, по определению, этот параметр зависит как от спектра мощности передаваемого ЗС, так и от спектра мощности шума канала передачи звуковой информации.

В соответствии с международными стандартами величина *SNR* отождествляется с динамическим диапазоном, который обозначается *DR* (*Dynamic Range*). Это замечание сделано в связи с тем, что в программе *SpectraLab* измеряется только *SNR*.

На [рис.3.2](#) приведены усредненные спектры музыкальных фонограмм. Как видно, разброс уровней в области нижних и верхних частот достигает 20...30 дБ. Большие

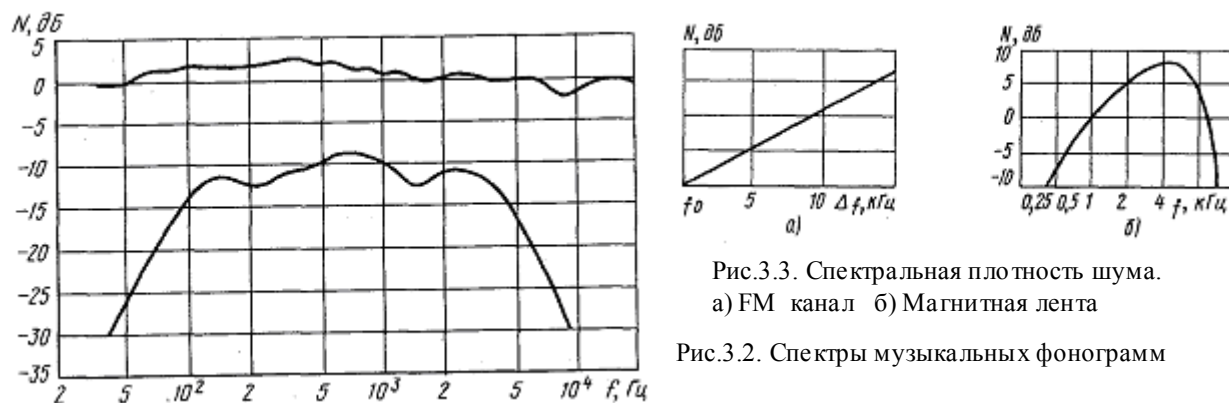


Рис.3.3. Спектральная плотность шума.
а) FM канал б) Магнитная лента

Рис.3.2. Спектры музыкальных фонограмм

уровни на нижних и верхних частотах в классической музыке встречаются редко. Но они характерны для современных эстрадных ансамблей с мощной ритмической группой и электронными музыкальными инструментами.

Спектральная плотность мощности шума очень сильно зависит от вида используемого канала. В ленточных магнитофонах она имеет подъем в области около 4 кГц, а в каналах *FM* вещания спектральная плотность растет линейно с увеличением девиации частоты ([рис.3.3](#)). Таким образом, в этих каналах значение *SNR* наиболее сильно понижается на высоких частотах.

Для расширения динамического диапазона звуковых трактов на высоких частотах наиболее часто используют компандерные системы шумопонижения. В этих системах в передающем тракте включается компрессор, который сокращает динамический диапазон ЗС. В приемном тракте включается экспандер, который расширяет этот диапазон до исходного значения, так чтобы сквозная передаточная функция была линейна во всем

звуковом диапазоне частот. При компрессировании коэффициент передачи ЗС по тракту уменьшается с увеличением уровня ЗС, а при экспандировании этот коэффициент увеличивается (рис.3.4.). На этом рисунке видно, что как динамический диапазон на

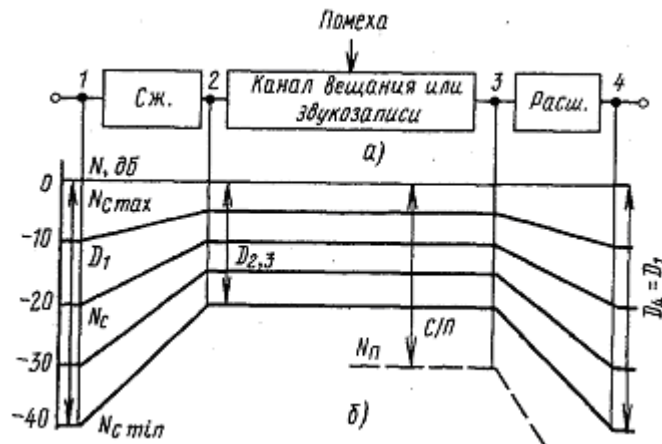


Рис.3.4. Компандерная система шумопонижения
а) Сквозной канал б) Уровнеграмма

входе D_1 при компрессировании уменьшается до D_2 , а при экспандировании он снова расширяется до $D_4=D_1$.

Компандерные системы по виду амплитудно-частотной характеристики могут быть широкополосными, многополосными и с изменяющейся (в зависимости от уровня ЗС) АЧХ. По виду передаточной функции компрессора (экспандера) они могут быть линейными, нелинейными и билинейными в зависимости от уровня ЗС. Из этих систем, наиболее широко применяемой в бытовой радиоаппаратуре, является *Dolby-B*. В ней используется билинейная передаточная функция компрессора (экспандера) и изменяющаяся АЧХ.

Диапазон входных уровней ЗС *Dolby-B* обычно делится на три участка (рис.3.5): 1 - амплитудная характеристика компрессора, 2- амплитудная характеристика экспандера, 3- сквозная характеристика. В диапазоне от 0 до $-(10...15)$ дБ сжатия не происходит, амплитудная характеристика компрессора линейная и коэффициент передачи (K) равен 1 (0 дБ). От $-(10...15)$ до -30 дБ сигнал сжимается за счет плавного уменьшения K , при уровне ЗС ниже -30 дБ амплитудная характеристика снова становится линейной и при этом K снова равно 0 дБ.

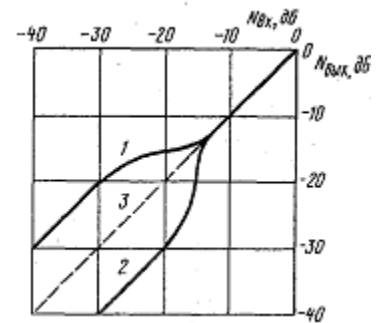


Рис.3.5. Амплитудные характеристики *Dolby-B*

В КСШП *Dolby-B* компрессия осуществляется в частотном диапазоне от 300 до

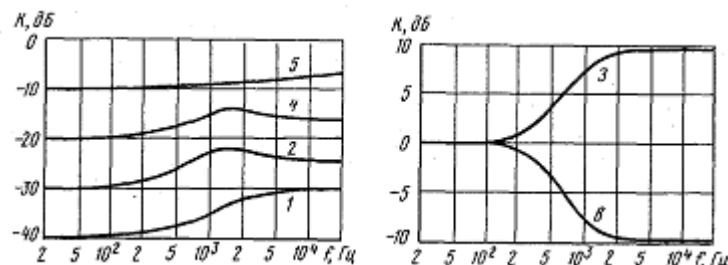


Рис.3.6. АЧХ системы *Dolby-B*
а) АЧХ компрессора

в) АЧХ компрессора и экспандера

20000 Гц с использованием фильтра высоких частот, обычно 1 порядка, с плавным подъемом высоких частот (рис.3.6). Как видно из этого рисунка, подъем высоких частот отсутствует при уровне ЗС 0 дБ и тем он выше, ниже уровень этого сигнала. Благодаря этому достигается увеличение SNR и расширение динамического диапазона на высоких

частотах до 10 дБ. Обычно управляющие цепи КСШП обеспечивают время нарастания импульсных сигналов 1...2 мс и время спада 100...150 мс.

4.2. Измерение характеристик КСШП в программе SpectraLab (SL).

В программе имеется возможность измерять амплитудную характеристику с помощью линейно нарастающего в логарифмической шкале синусоидального сигнала. На

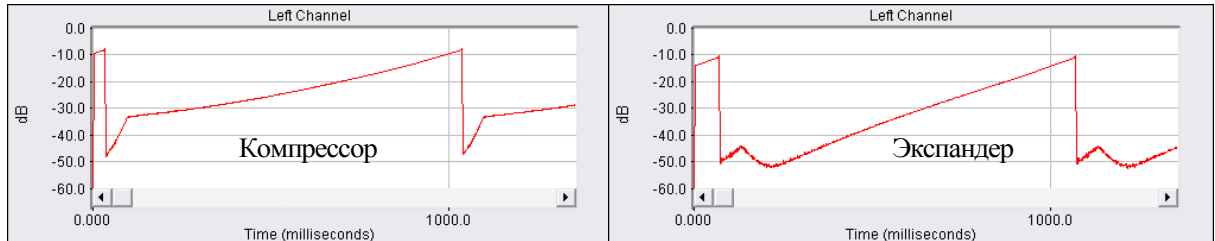


Рис.3.7. Амплитудные характеристики компрессора и экспандера КСШП Dolby-B

рис.3.7. приведены амплитудные характеристики компрессора и экспандера, измеренные на частоте сигнала 14 кГц, находящегося в области максимального регулирования. На частотах ниже 2 кГц амплитудные характеристики компрессора и экспандера линейны.

Как видно из рисунка, в компрессоре сначала напряжение нарастает линейно с высокой крутизной, затем скорость нарастания падает и остается почти постоянной в

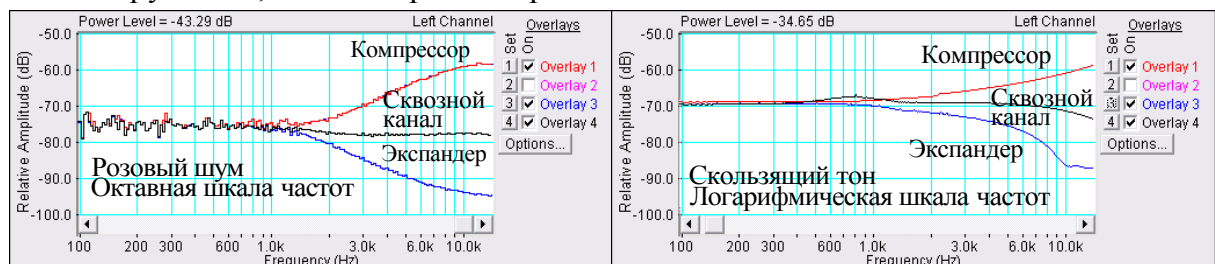


Рис.3.8. АЧХ компрессора, экспандера и сквозного тракта КСШП Dolby-B

диапазоне от -35 до -10 дБ.

В экспандере на начальном участке в диапазоне $-50...-45$ дБ сначала скорость нарастания увеличивается, затем падает и далее нарастает почти линейно со значительно большей крутизной, чем в компрессоре. При выключенной КСШП амплитудная характеристика линейна во всем диапазоне уровней от 0 до -40 дБ.

В программе *SL* имеется возможность измерять АЧХ 4 способами: с помощью белого шума, с помощью розового шума, сигналом скользящего тона в логарифмической шкале

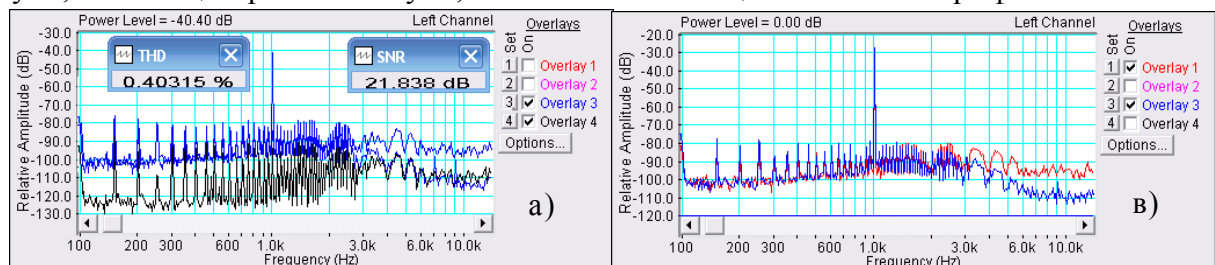


Рис.3.9. К измерению эффективности КСШП

частот и сигналом скользящего тона в октавной шкале частот. Результаты этих измерений могут существенно отличаться. В качестве примера на рис.3.8 приведены АЧХ компрессора, экспандера и сквозного тракта, снятыми двумя способами. Как видно, АЧХ снятая с помощью сигнала розового шума обладает большей симметрией характеристик, поэтому в лабораторной работе используется именно этот метод.

В программе *SL* для измерения эффективности КСШП в тракт вводится дополнительный шум и измеряется *SNR* на выходе сквозного тракта, когда КСШП

включена и выключена. Перед измерением эффективности контролируется уровень спектральной плотности собственного шума сквозного тракта при выключенной КСШП. Из рис.3.9.а) видно, что на низких частотах этот уровень равен минус 120 дБ FS. При введении дополнительного шума этот уровень увеличивается до минус 100 дБ FS.

Измерение эффективности КСШП производится на частоте 1 кГц при уровне сигнала минус 26 дБ. При этом измеряются SNR и нелинейные искажения (THD). Из рис.3.9.в) как снижается уровень шума только в области высоких частот при включенной и

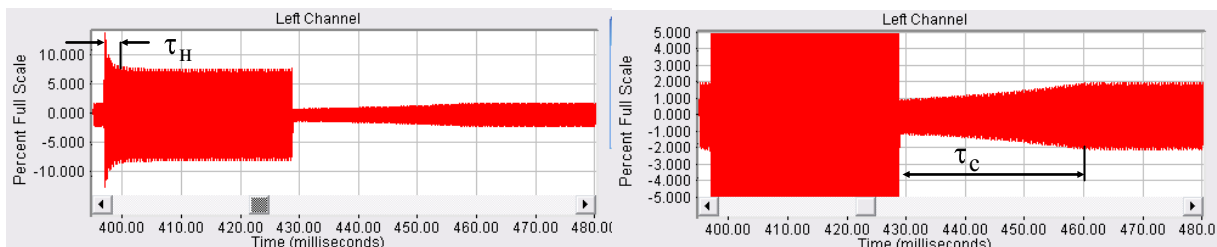


Рис.3.10. К определению времени нарастания и спада компрессора

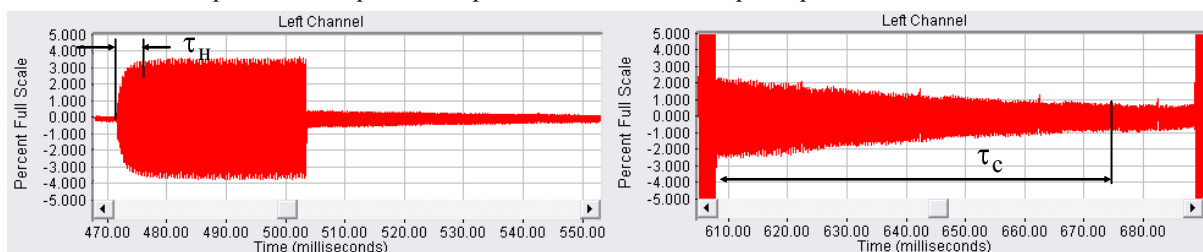


Рис.3.11. К определению времени нарастания и спада экспандера



выключенной КСШП.





Основными динамическими характеристиками являются время нарастания и спада импульсных сигналов в КСШП. *Время нарастания* – это промежуток времени, необходимый для изменения переднего фронта импульса от 10% до 90% его максимальной амплитуды. *Время спада* – обычно это промежуток времени, необходимый для изменения заднего фронта импульса от 90% до 10% его максимальной амплитуды, но в КСШП используется система автоматического регулирования, поэтому этот параметр определяется иначе.

Эти параметры в программе SL измеряются с помощью осциллографа и поясняются рис. 3.10 и 3.11. В компрессоре спад импульса происходит очень резко, и напряжение падает до уровня ниже, чем было на входе, и затем начинает нарастать. Время спада в этом случае определяется интервалом времени, за который напряжение нарастает до уровня 0,9 установившегося значения. В экспандере спад импульса также происходит очень резко, а затем до установившегося минимального значения происходит очень медленно. Для измерения времени спада целесообразно увеличивать масштаб по оси времени.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Функции кнопок управления:

- кнопкой с пиктограммой  осуществляется автоматическая установка пределов измерения по вертикальной оси шкалы анализатора спектра, фазометра или осциллографа
- кнопкой с пиктограммой  устанавливается частотный диапазон шкалы от 1 Гц до частоты Найквиста


- кнопкой с пиктограммой  вызывается маркер, которым устанавливается желаемый частотный диапазон шкалы
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются тонкими линиями
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются вертикальными линиями или столбиками
- кнопкой с пиктограммой  открывается меню анализатора спектра, фазометра или осциллографа, в котором вводятся необходимые опции.
- кнопкой **Run** включаются все измерительные приборы
- кнопкой **Stop** выключаются все измерительные приборы и запоминаются результаты измерений
- в меню **Avg** задается число усредняемых результатов измерения
- в окошке **Peak Hold** курсором включается функция удержания пиковых значений напряжения


5.2. Подготовка к измерениям

В лабораторной работе амплитудная характеристика КСШП измеряется с помощью скользящего по уровню сигнала в логарифмической шкале амплитуд. АЧХ измеряются с помощью сигнала розового шума в 1/24 октавной шкале частот. Для измерения эффективности КСШП в канал вводится дополнительный шум и измерение SNR осуществляется на частоте 1 кГц при уровне сигнала минус 30 дБ с использованием спектрального анализа. Динамические параметры КСШП измеряются на последовательности пакетов синусоидальных колебаний с частотой 10 кГц и уровнем минус 26 дБ, частота повторения пакетов 10 Гц. Измерения осуществляются с помощью осциллографа.


- Включите компьютер
- Скопируйте с рабочего стола файл «Отчет LR-3 ВС» на свою флешкарту, дайте ему свое имя в виде: «Группа»_ «Фамилия (работавшего на клавиатуре)»_ «Номер ЛР»_ «Дата».
- Откройте этот файл и сверните его окно.

В файл этого отчета вы будете копировать все экспериментальные графики, и заносить в таблицы отчета результаты измерений сразу в процессе их получения. В день выполнения лабораторной работы отчет в электронном виде необходимо сдать преподавателю, только тогда работа считается выполненной.

- Кнопкой с пиктограммой  откройте окно программы **SpectraLab**. Не меняйте размеры этого окна, они согласованы с Вашим отчетом
- Сделайте обязательные установки в микшере **Play Control**

Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте его окно. Затем после команд **Параметры** ⇒ **Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Воспроизведение**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Play Control**, **Wave (Звук)** и **Line in**, по команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором включите первые два регулятора и поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы. Регулятор **Line in** **обязательно выключите**. После этого окно микшера можно свернуть или вообще выключить.

- Сделайте обязательные установки в микшере **Record Control**

Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте окно микшера **Play Control**. Затем после команд **Параметры** ⇒ **Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Запись**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Microphone** и **Line in**. По команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы.

- Курсором сначала включите регулятор **Microphone**, затем переключите в режим **Line in**
- Поставьте переключатели макета в положения:
 - три тумблера: "ампл", "част" и "шум" - в положении "**выкл**",
 - переключатель "КСШП- в крайнее правое положение.
 - переключатель СШП – в положение **Вкл**
 - перекл. стат/дин в положении "**стат**".
 - перекл. 20/10 дБ не работает, не используется.

5.3. Измерение амплитудной характеристики

- Загрузите файл **LR-3.1 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.
Для этого в меню **Config** выберете опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберете файл **LR-3.1 BC. cfg** .
- По этой команде на вход КСШП подается с генератора линейно нарастающее напряжение с частотой 1 кГц и к выходу КСШП подключается осциллограф со шкалой в децибелах.

5.3.1. Измерение амплитудной характеристики компрессора

- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «**канал передачи**» и тумблером **включите «компрессор»**.
- По команде **Run** начните измерение амплитудной характеристики компрессора. Изображение передаточной функции на экране осциллографа непрерывно «бежит» из-за отсутствия синхронизации. Необходимо нажать кнопку **Stop**, когда на экране видна вся характеристика- потренируйтесь.
- Скопируйте график в файл вашего отчета.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберете команду "**Copy as a bitmap**". Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.3.2. Измерение амплитудной характеристики экспандера

- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «**выход экспандера**» и тумблером **выключите «компрессор»** и повторите измерения по п. 5.3.1

5.4. Измерение АЧХ

- Загрузите файл **LR-3.2 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.
Для этого в меню **Config** выберете опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберете файл **LR-3.2 BC. cfg** .
- По этой команде вход КСШП подключается к генератору скользящего тона с частотным диапазоном 2...20000 Гц и к выходу КСШП подключается анализатор спектра со шкалой в децибелах.

5.4.1. Измерение АЧХ компрессора

- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «**канал передачи**» и тумблером **включите «компрессор»**.

- Установите уровень сигнала розового шума 0 дБ

Для этого в окне **Generator** нажмите кнопку **Level**. В появившемся окне с клавиатуры наберите **0 дБ** и нажмите кнопку **ОК**

- По команде **Run** начните измерение АЧХ компрессора. Через 10...30 с, когда график перестанет видоизменяться, командой **Stop** зафиксируйте результаты измерений.

- Сохраните график в окне анализатора спектра

Для этого нажмите одну из четырех кнопок **Set**

- Повторите измерения при уровне сигнала розового шума -20, и -40 дБ, сохраняя графики нажатием кнопки **Set** в разных окошках
- Скопируйте сразу все графики в файл вашего отчета.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду "**Copy as a bitmap**". Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.4.2. Измерение АЧХ экспандера

- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «**выход экспандера**», тумблером **выключите «компрессор»**.

- Установите уровень сигнала розового шума 0 дБ

Для этого в окне **Generator** нажмите кнопку **Level**. В появившемся окне с клавиатуры наберите **0 дБ** и нажмите кнопку **ОК**

- По команде **Run** начните измерение АЧХ компрессора. Через 10...30 с, когда график перестанет видоизменяться, командой **Stop** зафиксируйте результаты измерений.

- Сохраните график в окне анализатора спектра

Для этого нажмите одну из четырех кнопок **Set**

- Повторите измерения при уровне сигнала розового шума -20, и -40 дБ, сохраняя графики нажатием кнопки **Set** в разных окошках
- Скопируйте сразу все графики в файл вашего отчета.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду "**Copy as a bitmap**". Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.4.3. Измерение сквозной АЧХ

- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «**выход экспандера**», тумблером **включите «компрессор»**.

- Установите уровень сигнала розового шума 0 дБ

Для этого в окне **Generator** нажмите кнопку **Level**. В появившемся окне с клавиатуры наберите **0 дБ** и нажмите кнопку **ОК**

- По команде **Run** начните измерение АЧХ компрессора. Через 10...30 с, когда график перестанет видоизменяться, командой **Stop** зафиксируйте результаты измерений.

- Сохраните график в окне анализатора спектра

Для этого нажмите одну из четырех кнопок **Set**

- Повторите измерения при уровне сигнала розового шума -20, и -40 дБ, сохраняя графики нажатием кнопки **Set** в разных окошках
- Скопируйте сразу все графики в файл вашего отчета.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду "**Copy as a bitmap**". Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.5. Исследование эффективности КСШП

- Эффективность КСШП измеряется на частоте 1 кГц с уровнем сигнала минус 30 дБ при подаче в тракт дополнительного шума. Она определяется как разность значений SNR, измеренных при включенной и выключенной системе шумопонижения
- Загрузите файл **LR-3.3 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.
Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-3.3 BC.cfg**.
- По этой команде вход КСШП подключается к генератору тона с частотой 1 кГц и к выходу КСШП подключаются анализатор спектра, измеритель нелинейных искажений и измеритель SNR.
- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «**выход экспандера**», тумблерами **включите «компрессор» и «шум»**

5.5.1. Измерение SNR сквозного тракта КСШП

- По команде **Run** начните измерение **SNR** сквозного тракта КСШП. Через 10...30 с, когда график перестанет видоизменяться, командой **Stop** зафиксируйте результаты измерений.
- Скопируйте график в файл вашего отчета.
Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **“Copy as a bitmap”**. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.5.2. Измерение SNR сквозного тракта с выключенной СШП

- Поставьте тумблер **СШП** в положение **Выкл** и повторите измерения по п. 5.5.1.
- Вычислите эффективность КСШ по формуле

$$\Delta SNR = SNR1 - SNR2$$

Результат занесите в **табл.3.1**.





| Табл.3.1. | | | | | | |
|-------------------|-------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Измерение SNR, dB | | | Компрессор | | Экспандер | |
| SNR 1 | SNR 2 | ΔSNR | $\tau_H, мс$ | $\tau_C, мс$ | $\tau_H, мс$ | $\tau_C, мс$ |
| | | | | | | |

5.6. Исследование динамических характеристик КСШП

- Динамические характеристики КСШП измеряются с помощью осциллографа на тестовом сигнале в виде прямоугольных пакетов синусоидальных сигналов с частотой 10 кГц и уровнем минус 26 дБ. Частота следования пакетов 10 Гц.
- Включите модулятор, поставив **переключатель "дин/стат"** в положение **"дин"**, тумблером выключите **Шум**
- Загрузите файл **LR-3.4 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.
Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-3.4 BC.cfg**.

- По этой команде вход КСШП подключается к генератору тона с частотой 10 кГц и к выходу КСШП подключается осциллограф с линейной шкалой.

5.6.1. Исследование динамических характеристик компрессора

- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «канал передачи» и тумблером включите «компрессор».
- По команде **Run** на экране осциллографа появятся сигнал на выходе компрессора. Командой **Stop** зафиксируйте результат измерений так, чтобы был виден весь период сигнала. При этом можно кнопкой  увеличивать или уменьшать амплитуду импульсов, а кнопками    менять масштаб по оси времени для удобства измерений.
- По графику с помощью курсора определите время нарастания и спада импульсов. Для этого направьте курсор на график и нажмите левую клавишу мышки – появится перекрестие из двух линий с индикацией времени, сохраняя нажатой клавишу мышки, выполните измерения.
 - Результаты измерений занесите в табл.3.1
 - Скопируйте осциллограмму в файл вашего отчета. Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду “Copy as a bitmap”. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.6.2. Исследование динамических характеристик экспандера

- Подключите вход звуковой карты к выходу макета «выход экспандера», тумблером **выключите** «компрессор».
- Повторите измерения по п.5.6.1.

6. Контрольные вопросы

1. Дайте определения понятиям динамический диапазон и отношение сигнал/шум
2. Поясните назначение и принцип действия компандерной системы шумопонижения
3. Каковы основные характеристики КСШП Dolby-B
4. Почему улучшение SNR делается только в области высоких частот
5. Как отличаются амплитудные характеристики компандера и экспандера
6. Как меняется АЧХ компандера с изменением уровня сигналов
7. Как меняется АЧХ экспандера с изменением уровня сигналов
8. Чем характеризуется эффективность КСШП, насколько может повышаться SNR в Dolby-B
9. Какова длительность переходных процессов в компрессоре и экспандере

7. Содержание отчета

- 7.1. Титульный лист
- 7.2. Цель работы
- 7.3. Задание к лабораторной работе
- 7.4. Функциональная схема измерений
- 7.5. Результаты измерений в виде графиков
- 7.6. Таблицы с результатами измерений и расчетов
- 7.7. Выводы по результатам измерений

8. Литература

1. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов/ И.А.Алдошина, Э.И.Вологдин, А.П.Ефимов, и др.; Под ред. Ю.А.Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007.- 872 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА LR-4 ВС

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ–ОГРАНИЧИТЕЛЯ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является изучение принципа действия и технических характеристик усилителя – ограничителя проводного вещания с использованием компьютерной программы SpectraLab

2. Задание к лабораторной работе

- Ознакомиться с программой SpectraLab в объеме, необходимом для исследования статических и динамических характеристик усилителя – ограничителя проводного вещания, выполняющего функцию автоматического регулятора - ограничителя максимальных уровней звуковых сигналов.
- Ознакомиться с функциональной схемой усилителя-ограничителя.
- Исследовать статические характеристики усилителя-ограничителя.
- Исследовать динамические характеристики усилителя-ограничителя.
- Сформулировать выводы и составить отчет по лабораторной работе

3. Функциональная схема измерений

На рис.4.1. приведена функциональная схема макета усилителя-ограничителя (УО) максимальных уровней звуковых сигналов с автоматической регулировкой усиления (АРУ). Она включает в себя модулятор, управляемый регулятор уровня,

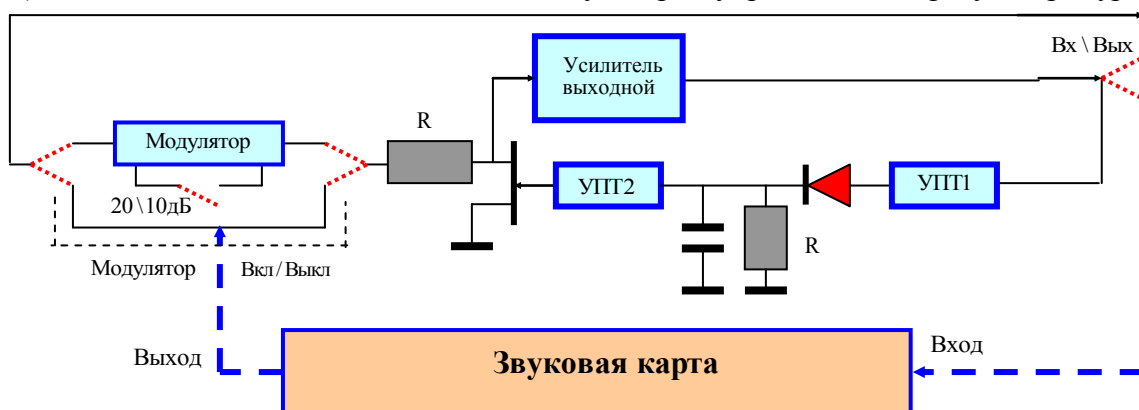


Рис.4.1. Функциональная схема измерений

широкополосный усилитель, двухкаскадный усилитель постоянного тока (УПТ) и детектор с задержкой.

Тестовый сигнал синусоидальной формы с выхода звуковой карты при измерении статических характеристик подается на вход автоматического регулятора уровней, включающий в себя резистор R и полевой транзистор. Этот транзистор управляется

постоянным напряжением цепи обратной связи АРУ. Под действием этого напряжения в широких пределах меняется сопротивление сток-исток транзистора и, следовательно, коэффициент передачи делителя.

УПТ1 выполняет две функции: усиливает сигнал переменного тока и подпирает диод детектора отрицательным напряжением около 0,8 В. Благодаря этому пока входной сигнал усилителя-ограничителя не превысит номинального значения диод остается запертым, АРУ не работает и передаточная характеристика усилителя –ограничителя остается линейной.

При напряжении на входе УО выше номинального диод открывается, переменный сигнал детектируется, и управляющее напряжение поступает на затвор полевого транзистора, под действием которого сопротивление сток-исток уменьшается, и выходное напряжение начинает расти значительно медленнее, передаточная характеристика изменяется. При измерении статических характеристик со звуковой карты подаются разные тестовые сигналы.

Модулятор предназначен для измерения динамических характеристик УО. Он осуществляет амплитудно-импульсную модуляцию синусоидального сигнала с глубиной 10 или 20 дБ. На выходе модулятора сигнал имеет вид пакетов синусоидальных колебаний длительностью 10 мс и частотой 0,5 Гц. С помощью таких сигналов измеряется время установления T_y и время восстановления T_B УО.

С выхода УО сигнал подается на вход звуковой карты, с помощью которой измеряются амплитудные и частотные характеристики, нелинейные искажения и динамические параметры УО. При измерениях звуковая карта выполняет функции вольтметра, осциллографа, анализатора спектра, измерителей АЧХ, нелинейных и переходных искажений.

4. Методические указания

4.1. Назначение и принцип работы УО

Усилитель – ограничитель предназначен для предварительного усиления вещательных сигналов и защиты мощных вещательных усилителей от перевозбуждения по входу и перегрузок по выходу.

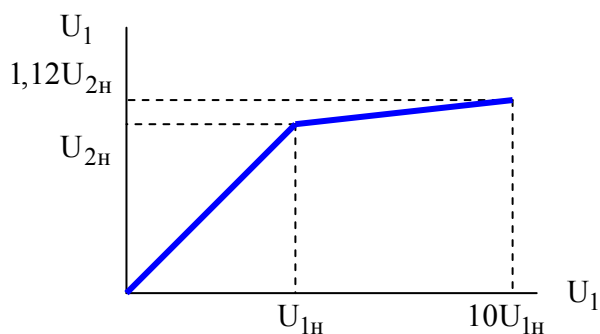


Рис. 4.2 Амплитудная характеристика УО

Усилитель-ограничитель максимальных уровней является автоматическим регулятором *инерционного действия*. В таком УО амплитуда напряжения на выходе U_2 прямо пропорциональна амплитуде напряжения U_1 на входе, до некоторой величины, называемой *номинальной* ($U_{1н}$). До этого напряжения амплитудная характеристика имеет одну крутизну, а

выше – другую, значительно меньшую. Номинальное напряжение характеризуется тем, что при этом напряжении нелинейные искажения максимальны.

При номинальном входном напряжении амплитуда напряжения на выходе также достигает определенной номинальной величины $U_{2н}$. При превышении номинальной амплитуды на входе, например, на 20 дБ, т.е. в 10 раз, возрастание амплитуды напряжения на выходе не должно превышать заданной величины, например, 1 дБ, т.е. 12% (рис.4.2). Таким образом, УО отличается тем, что до номинального напряжения у него один коэффициент передачи (усиления), а выше номинального – другой, значительно меньший.

Эффективность работы УО оценивают *коэффициентом ограничения*, который определяется равенством

$$\gamma = \frac{20 \log \frac{U_2}{U_{2н}}}{20 \log \frac{U_1}{U_{1н}}}, \text{ при } U_2 > U_{2н} \text{ и } U_1 > U_{1н}$$

В нашем примере $\gamma = 0,05$

Основными функциональными элементами УО являются управляющая и управляемая цепи.

Управляющая цепь содержит однополупериодный выпрямитель, два усилителя постоянного тока (УПТ1 и УПТ2) и сглаживающий RC фильтр. УПТ1 усиливает вещательный сигнал и создает запирающее напряжение на диоде, определяющее номинальное входное напряжение. При номинальном напряжении на входе диод должен начать открываться и появляться постоянное управляющее напряжение на выходе фильтра. RC фильтр определяет постоянные времени установления и восстановления выходного напряжения УО при скачкообразном изменении входного напряжения. Постоянная времени установления определяется сопротивлением диода r и емкостью конденсатора C , а постоянная времени восстановления определяется постоянной времени цепи RC. T_B всегда существенно больше T_Y , обычно $T_Y = 0,3 \dots 1,0$ мс, а $T_B = 1,0 \dots 1,5$ с. УПТ2 усиливает управляющий сигнал и создает необходимое напряжения смещения на затворе полевого транзистора.

Время установления зависит емкости цепи RC, сопротивления диода и величины превышения входного напряжения номинального значения. Это превышение должно быть не менее 10 дБ. T_Y должно быть меньше времени адаптации слуха к нелинейным искажениям (10...20 мс) и обычно равно 1-2 мс.

Выбор времени восстановления связан также с адаптацией слуха на громкость (200 мс), иначе теряется восприятие динамической контрастности передачи при резких переходах от громкого исполнения к тихому. Чрезмерно большое T_B создает впечатление «заикания», вследствие медленного увеличения коэффициента передачи.

Управляемая цепь содержит управляемый делитель напряжения, состоящий из резистора и переходного сопротивления сток-исток полевого транзистора. Под действием управляющего напряжения меняется сопротивление этого перехода. При отсутствии управляющего напряжения сопротивление перехода транзистора стремится к бесконечности и коэффициент передачи делителя близок к единице. Под действием управляющего напряжения сопротивление перехода сток-исток сильно уменьшается, и коэффициент передачи делителя уменьшается в десятки раз.

Модулятор используется только для измерения динамических характеристик УО T_Y и T_B . Он формирует импульсно амплитудно-модулированные колебания синусоидальных колебаний длительностью импульсов 10 мс и с частотой повторения 0,5 Гц.

4.2. Статические характеристики усилителя ограничителя с АРУ

К статическим характеристикам УО относятся:

- Номинальное входное напряжение
- Номинальное выходное напряжение
- Амплитудная характеристика
- Амплитудно-частотная характеристика
- Коэффициент ограничения

- Коэффициент нелинейных искажений
- Отношение сигнал-шум (SNR)

В программе SpectraLab (SL) номинальные входное и выходное напряжения измеряются с помощью виртуального много шкального милливольтметра. С помощью

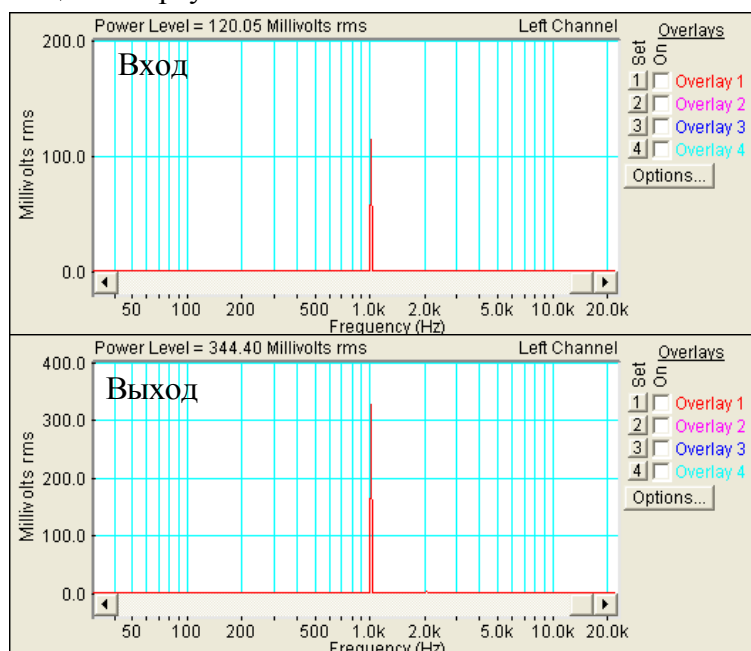


Рис.4.3. К построению амплитудной характеристики УО и определение номинальных напряжений

переключателя Вход/Выход вольтметр измеряет входное и выходное напряжения УО и строится амплитудная характеристика, по которой определяется точка перегиба, как это показано на рис. 4.2. Результат измерения эффективного значения напряжения высвечивается на экране (Power Level) (рис. 4.3). Это трудоемкая операция, так как надо снимать много точек графика.

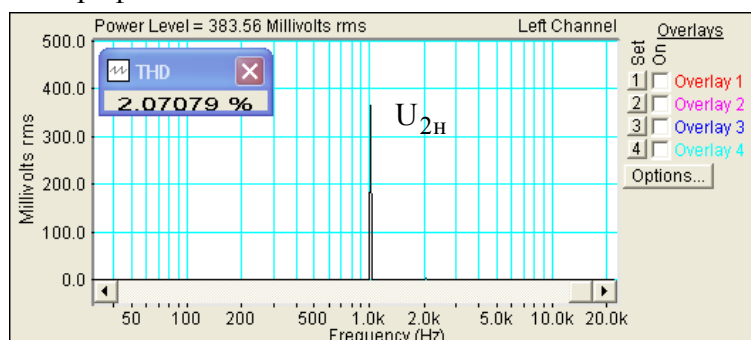


Рис. 4.4. К определению номинальных напряжений с помощью измерителя THD

В программе SpectraLab более эффективно определять номинальное входное и выходное напряжение с помощью измерителя гармонических нелинейных искажений (THD), так как при этом напряжении THD максимален и достигает значения 2% (рис. 4.4.)

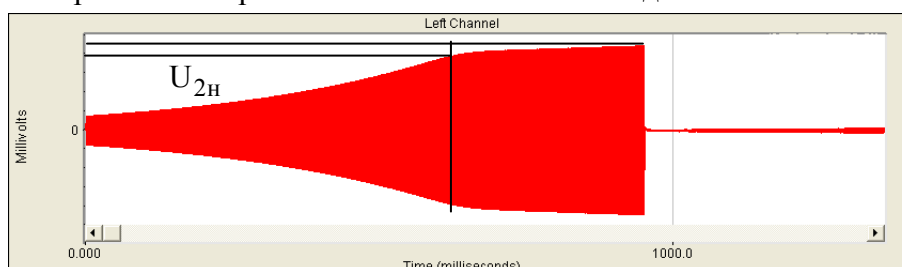


Рис.4.5. Амплитудные характеристики УО

Программа SL позволяет измерять амплитудную характеристику с помощью с помощью линейно нарастающего напряжения с частотой, например, 1 кГц (рис 4.5.). Скорость нарастания может меняться в широких пределах

В программе SL амплитудно частотная характеристика может измеряться с помощью розового и белого шума, а также с помощью скользящего тона (рис.4.6.). АЧХ

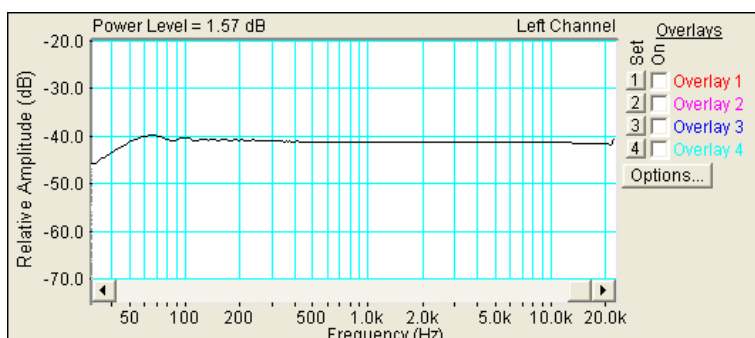


Рис. 4.6. АЧХ усилителя ограничителя при максимальном входном сигнале

существенно зависит от выходного напряжения УО.

Коэффициент нелинейных искажений THD и SNR в программе SL определяются

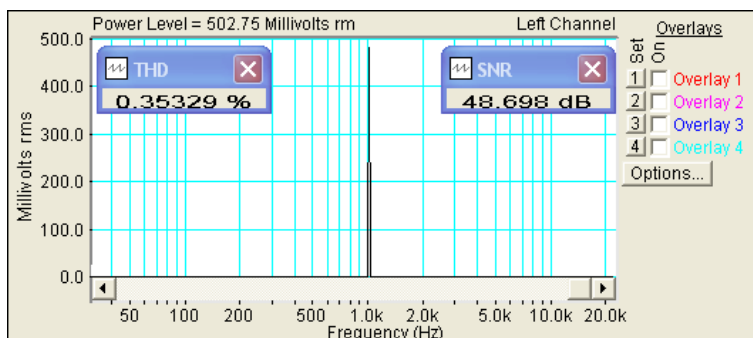


Рис.4.7. Определение THD и SNR

одновременно на частоте 1000 Гц (рис.4.7). Эти параметры существенно зависят от уровня выходного сигнала УО, поэтому измерения производятся при нескольких значениях напряжения. Для простоты измерений вертикальная шкала анализатора спектра градуируется в милливольтгах.

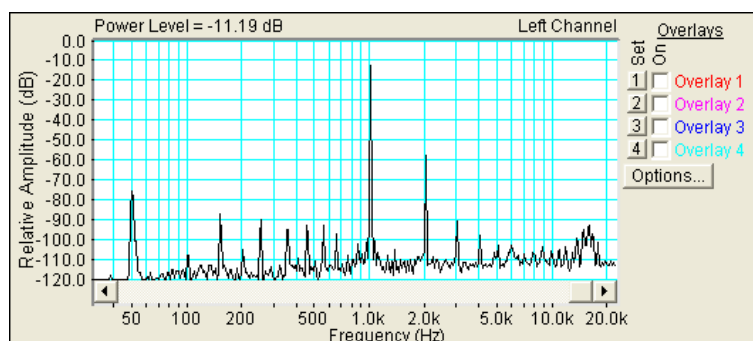


Рис.4.8. Спектр шума и нелинейных искажений УО

Для того чтобы понять чем ограничивается значение SNR в лабораторной работе измеряется спектр тестового сигнала 1 кГц. Этот спектр характеризует состав и величину гармоник, а также спектр наводок и шума. Как видно из рис. 4.8, в спектре присутствуют четные и нечетные гармоники тестового сигнала, особенно велика 2 гармоника. Составляющие спектра ниже частоты 1 кГц - это наводки сети переменного тока, лежащие ниже минус 80 дБ.

4.3. Динамические характеристики усилителя ограничителя с АРУ

Измерение времени установления и времени восстановления УО производится с помощью синусоидального тестового сигнала с амплитудно импульсной модуляцией (АИМ) с глубиной модуляции 10 и 20 дБ (рис.4.9). В качестве несущей выбрана частота 8 кГц, с тем, чтобы облегчить измерение времени установления.

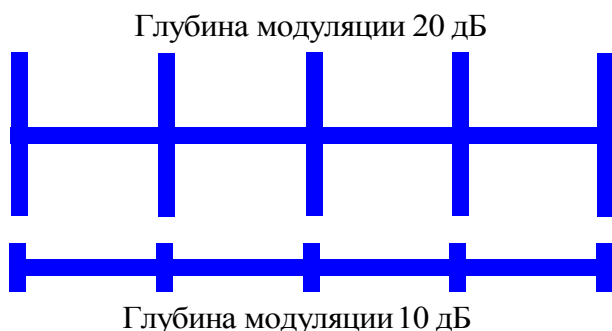


Рис.4.9. Амплитудно-импульсная модуляция

При глубине модуляции 20 дБ размах сигнала в 10 раз больше размаха несущей частоты. При глубине модуляции 10 дБ размах сигнала в 3 раза больше размаха несущей частоты.

Длительность импульсов 10 мс выбрана для облегчения измерения времени установления, равного 1...3 мс. Период повторения выбран 2 с для упрощения измерения времени восстановления.

Автоматическое регулирование импульсных сигналов сопровождается переходными процессами, связанными с зарядом и разрядом конденсатора управляющего звена. Поэтому АИМ сигнал сильно изменяется по форме (рис 4.10.). Величина возникающих искажений существенно зависит от уровня несущей и глубины модуляции. Это связано с

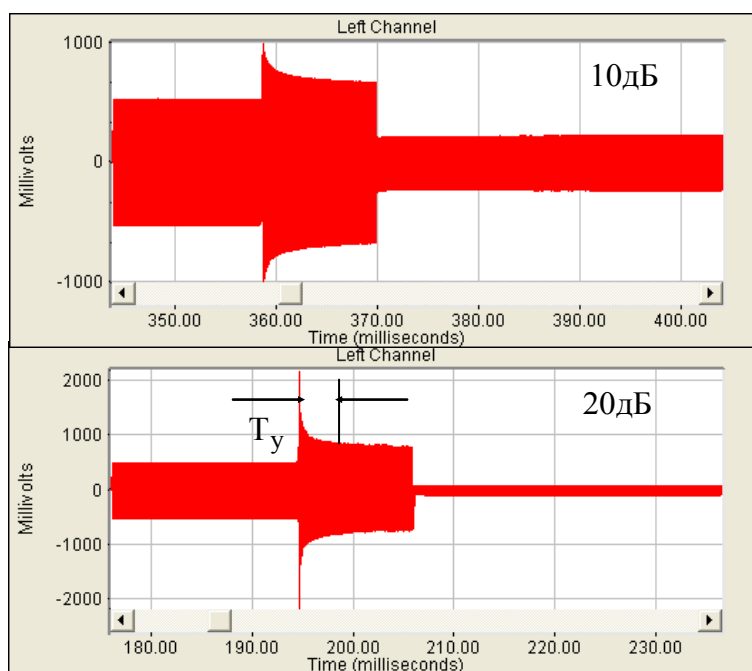


Рис.4.10. АИМ сигналы на выходе УО с глубиной модуляции 10 и 20 дБ

тем, что импульсы усиливаются меньше, чем несущая частота. В результате происходит частичная демодуляция АИМ сигнала, и глубина модуляции соответствует исходному сигналу лишь в момент спада импульсов. В остальное время она может быть существенно меньше.

Всплеск в начале каждого импульса возникает из-за того, что конденсатор RC цепи не заряжен и поэтому коэффициент усиления высокий. По мере заряда конденсатора, усиление падает, и напряжение амплитуды импульса постепенно уменьшается до установившегося значения. Оно лишь немного превышает установившееся значение несущей независимо от глубины модуляции. Этот переходной процесс определяет время установления.

В момент окончания импульса напряжение несущей на входе цепи RC резко падает до минимального значения, соответствующего уровню несущей на входе УО. Поэтому начинается разряд конденсатора цепи RC. При этом коэффициент усиления постепенно

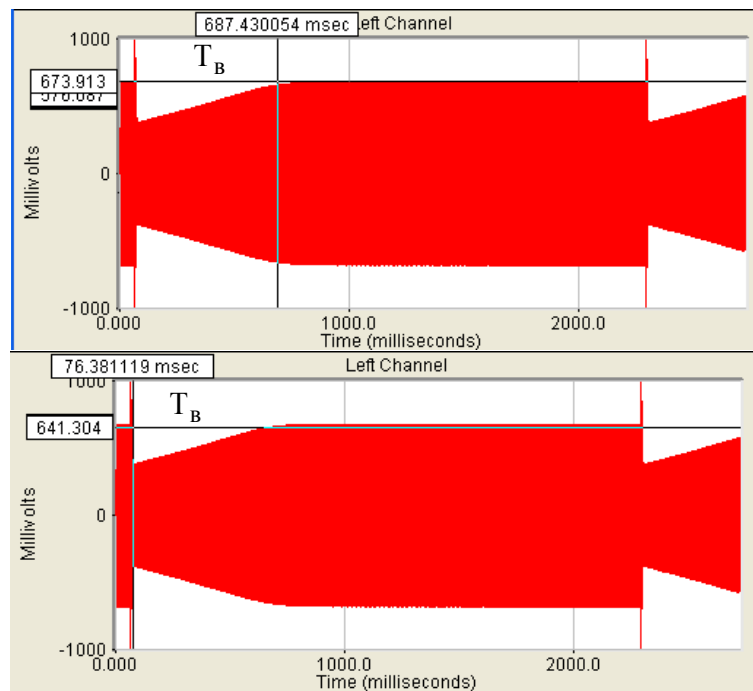


Рис.4.11. Измерение времени восстановления УО с АРУ






увеличивается, и напряжение несущей стремится вырасти до значения, соответствующего статическому режиму (без импульсной модуляции). Этот переходной процесс определяет время восстановления.


По осциллограммам импульсов напряжения измеряется время установления. Под временем установления понимается время спада напряжения от 0,9 максимального значения до 0.1 от установившегося. Выполняется это с помощью курсора.

При измерении времени восстановления сначала находится точка номинального выходного напряжения (точка преломления амплитудной характеристики) и курсором высвечивается на индикаторе соответствующее время (рис 4.11). Затем эта операция повторяется по моменту резкого спада выходного напряжения и время восстановления рассчитывается.

5. Порядок выполнения работы

5.1. Функции кнопок управления:


- кнопкой с пиктограммой  осуществляется автоматическая установка пределов измерения по вертикальной оси шкалы анализатора спектра, фазометра или осциллографа
- кнопкой с пиктограммой  устанавливается частотный диапазон шкалы от 1 Гц до частоты Найквиста
- кнопкой с пиктограммой  вызывается маркер, которым устанавливается желаемый частотный диапазон шкалы
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются тонкими линиями
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются вертикальными линиями или столбиками


- кнопкой с пиктограммой  открывается меню анализатора спектра, фазометра или осциллографа, в котором вводятся необходимые опции.
- кнопкой **Run** включаются все измерительные приборы
- кнопкой **Stop** выключаются все измерительные приборы и запоминаются результаты измерений
- в меню **Avг** задается число усредняемых результатов измерения
- в окошке **Peak Hold** курсором включается функция удержания пиковых значений напряжения


5.2. Подготовка к измерениям

- Включите компьютер и макет УО
- Скопируйте с рабочего стола файл «Отчет LR-4 ВС» на свою флешкарту, дайте ему свое имя в виде: «Группа»_ «Фамилия (работавшего на клавиатуре)»_ «Номер ЛР»_ «Дата».
- Откройте этот файл и сверните его окно.

В файл этого отчета вы будете копировать все экспериментальные графики, и заносить в таблицы отчета результаты измерений сразу в процессе их получения. В день выполнения лабораторной работы отчет в электронном виде необходимо сдать преподавателю, только тогда работа считается выполненной.

- Кнопкой с пиктограммой  откройте окно программы **SpectraLab**. Не меняйте размеры этого окна, они согласованы с Вашим отчетом
- Сделайте обязательные установки в микшере **Play Control**

Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте его окно. Затем после команд **Параметры** \Rightarrow **Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Воспроизведение**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Play Control**, **Wave (Звук)** и **Line in**, по команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором включите первые два регулятора и поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы. Регулятор **Line in** **обязательно выключите**. Сделайте обязательные установки в микшере **Record Control**

Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте окно микшера **Play Control**. Затем после команд **Параметры** \Rightarrow **Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Запись**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Microphone** и **Line in**. По команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы.

- Поставьте переключатели макета УО в положения:
 - переключатель УО Вход/Выход в положение Вход.
 - переключатель Модулятор Вкл/Выкл в положение Выкл.
 - Переключатель 20/10 дБ в положение 10 дБ.

5.3. Измерение амплитудной характеристики

- Загрузите файл **LR-4.1 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-4.1 BC.cfg**.

- По этой команде к входу УО подключается генератор тонального сигнала с частотой 1 кГц и напряжением 1-1,5 В, а также милливольтметр, измеряющий напряжение.

5.3.1. Измерение входного и выходного напряжений амплитудной характеристики



- Поставьте переключатель УО в положение **Вход**
- Поставьте регуляторы уровня **Wave** и **Play control** в нижнее положение шкал (2-3 деления снизу)
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде начинаются измерения.
- Нажмите кнопку . По этой команде автоматически выберется необходимая шкала вольтметра. Двумя ручками регулятора установите по индикатору **Power Level** напряжение сигнала с частотой 1 кГц равным 20 мВ (рис.4.3).
- Поставьте переключатель УО в положение **Выход**
- Нажмите кнопку . По этой команде автоматически выберется необходимая

Табл. 4.1 Амплитудная характеристика

| | | | | | | | | | |
|------------------------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--|
| $U_{\text{ВХ}}, \text{ мВ}$ | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 200 | 400 | 800 | |
| $U_{\text{ВЫХ}}, \text{ мВ}$ | | | | | | | | | |

шкала вольтметра. С помощью индикатора анализатора спектра измерьте выходное напряжение УО, результат занесите в табл. 4.1

- Повторите измерения для всех входных напряжений, указанных в табл.4.1.

5.3.2. Построение графика амплитудной характеристики

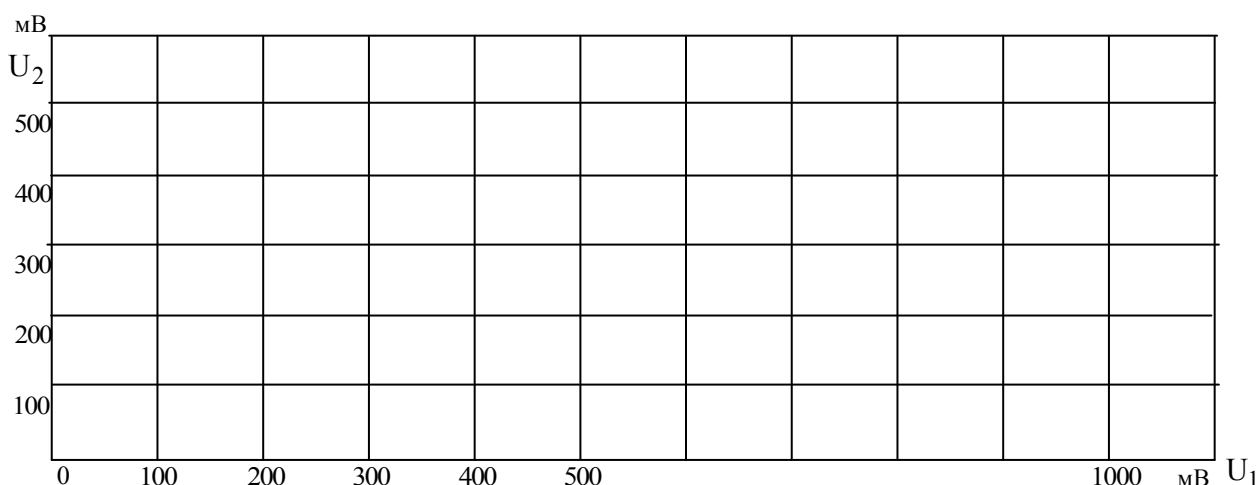


Рис.4.10. График амплитудной характеристики УО с АРУ

- По графику определяем номинальное входное и выходное напряжения $U_{1н}$ и $U_{2н}$, максимальное выходное напряжение U_{2max}
- По формулам


$$\gamma = \frac{20 \log \frac{U_{2max}}{U_{2н}}}{20 \log \frac{U_{1max}}{U_{1н}}}, \text{ при } U_2 > U_{2н} \text{ и } U_1 > U_{1н}$$

рассчитываем коэффициент ограничения и записываем его на графике.

5.3.3. Измерение амплитудной характеристики скользящим тоном

- Загрузите файл **LR-4.2 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-4.2 BC.cfg**. По этой команде появится шкала осциллографа

- По этой команде к входу УО подключается генератор скользящего тона с частотным диапазоном 2...22000 Гц и напряжением 1-1,5 В. К выходу УО подключается анализатор спектра со шкалой в децибелах.
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде на дисплее появится медленно движущее изображение амплитудной характеристики. Для замедления движения можно нажать кнопку .
- Нажмите кнопку **Stop** в момент, когда на экране видна вся характеристика. Сохраните график (рис.4.5).

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **Copy as a bitmap**. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

- На графике определите местоположение номинального выходного напряжения и выделите его.

5.3.4. Определение номинальных значений напряжений через измерение нелинейных искажений

- Загрузите файл **LR-4.6 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-4.6 cfg**.

- По этой команде к входу УО подключается генератор тонального сигнала с частотой 1 кГц и напряжением 1-1,5 В. К выходу УО подключается анализатор спектра со шкалой в децибелах и измеритель гармонических нелинейных искажений THD.
 - Установите оба регулятора уровня в верхнее положение
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде на дисплее вольтметра появится тестовый сигнала 1 кГц и индикатор значения **THD**.
- Плавно уменьшайте уровень сигнала регулятором **Play Control** и следите за показаниями измерителя **THD**.
 - Найдите точку с максимальным значением **THD** и нажмите кнопку **Stop**. Запишите показания вольтметра – это будет номинальное выходное напряжение $U_{2н}$ (рис.4.4)
 - Поставьте переключатель УО Вход/Выход в положение **Вход** и запишите показания вольтметра - это будет номинальное входное напряжение $U_{1н}$.
 - Верните переключатель УО Вход/Выход в положение **Выход**

5.4. Измерение амплитудно-частотной характеристики скользящим тоном

- Загрузите файл **LR-4.3 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-4.3 BC.cfg**.


- По этой команде к входу УО подключается генератор тонального сигнала с частотой 1 кГц и напряжением 1-1,5 В. К выходу УО подключается анализатор спектра со шкалой в децибелах.
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде на дисплее начнет появляться график АЧХ. Через 30-40 с, когда график перестанет видоизменяться, нажмите кнопку **Stop**. Сохраните график (рис.4.6.).

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду “Copy as a bitmap”. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.5. Измерение нелинейных гармонических искажений и SNR

- Загрузите файл **LR-4.4 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-4.4 cfg**.

- По этой команде к входу УО подключается генератор тонального сигнала с частотой 1 кГц и напряжением 1-1,5 В. К выходу УО подключается милливольтметр, измеритель гармонических нелинейных искажений THD и измеритель SNR.
- Установите оба регулятора уровня в верхнее положение
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде на дисплее появится спектр тестового сигнала 1 кГц и значения **THD**, **SNR** и U_2 (рис.4.7.). Через 10-20 с, когда цифры перестанут изменяться, нажмите кнопку **Stop** и занесите результаты измерений в табл.4.2..
- Повторите измерения при уменьшении уровня регулятора **Play Control** через каждые 1-2 деления. Результаты измерений занесите в табл. 4.2. При необходимости меняйте шкалу вольтметра путем нажатия кнопки 

| Число делений | 7 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|---------------|---|---|---|---|---|
| U_2 , мВ | | | | | |
| THD, % | | | | | |
| SNR, dB | | | | | |

5.6. Измерение спектра шума и нелинейных искажений

- Загрузите файл **LR-4.5 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-4.5 cfg**.

- По этой команде к входу УО подключается генератор тонального сигнала с частотой 1 кГц и напряжением 1-1,5 В. К выходу УО подключается анализатор спектра со шкалой в децибелах.

- Установите оба регулятора уровня в верхнее положение

Нажмите кнопку **Run**. По этой команде на дисплее появится спектр шума и тестового сигнала 1 кГц. Через 10-20 с, когда цифры перестанут изменяться, нажмите кнопку **Stop** и сохраните график (рис.4.8)

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду “Copy as a bitmap”. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

- Оцените, какими составляющими спектра определяются **THD** и **SNR**

5.7. Измерение динамических характеристик

- Загрузите файл **LR-4.7 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы настоящего раздела.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-4.7 cfg**.

- По этой команде к входу УО подключается генератор тонального сигнала с частотой 1 кГц. К выходу УО подключается осциллограф с линейной шкалой.
- Установите регулятор **Play Control** в положение на 3 деления сверху вниз
- Поставьте переключатель **Модуляция** в положение **20 дБ**

5.7.1. Измерение времени восстановления

- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде на дисплее осциллографа появится медленно движущийся АИМ сигнал на выходе УО. Нажмите кнопку **Stop** в момент резкого спада напряжения, так чтобы на экране был виден весь участок роста напряжения, от минимального до номинального напряжения.
- Измерьте время восстановления (рис.4.11)

Для этого наведите курсор на график и нажмите левую клавишу мышки – появится перекрестие и два окошка, в которых указывается время и мгновенное напряжение сигнала. Не отпуская кнопки мышки, наведите перекрестие на точку номинального напряжения и запишите время. Затем переведите перекрестие в точку максимально крутого спада напряжения (минимальное напряжение) и запишите время. Вычислите время восстановления как разность измеренных значений времени.


- Сохраните график спектра и напишите на нем измеренное время восстановления.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду “Copy as a bitmap”. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.7.2. Измерение времени установления

- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде на дисплее осциллографа появится медленно движущийся АИМ сигнал на выходе УО. Нажмите кнопку **Stop** в момент, когда виден всплеск напряжения, ближе к середине экрана.
- Измените масштаб по оси времени для короткого импульса напряжения так, чтобы можно было определить длительность его спада



Для этого нажмите кнопку , и переведите курсор на экран. На нем появится изображение квадрата со знаком + в верхнем левом углу. Установите знак + на небольшом расстоянии от левого края импульса напряжения, который надо расширить и затем сдвиньте курсором знак + вправо, на другую сторону импульса напряжения. Он расширится. Если надо, операцию можно повторить.

- Измерьте длительность времени установления (рис.4.10).

Для этого наведите курсор на график и нажмите левую клавишу мышки – появится перекрестие и два окошка, в которых указывается время и мгновенное напряжение сигнала. Не отпуская кнопки мышки, наведите перекрестие на точку максимального напряжения импульса и запишите время. Затем переведите перекрестие в точку, где спад закончился и запишите время. Вычислите время установления как разность измеренных значений времени.

- Сохраните график спектра

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду “Copy as a bitmap”. Откройте файл вашего

отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка и напишите на нем измеренное время установления.

6. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте назначение УО
2. Опишите принцип действия УО
3. Перечислите статические характеристики УО
4. Перечислите динамические характеристики УО
5. Что понимается под номинальным входным напряжением
6. Какой вид имеет амплитудная характеристика УО
7. Что такое эффективность регулирования УО
8. Из каких соображений выбирается время установления
9. Из каких соображений выбирается время восстановления
10. Как измерить время установления
11. Как измерить время восстановления
12. При каком входном напряжении нелинейные искажения УО максимальны
13. Какими причинами определяются нелинейные искажения и шумы УО

7. Содержание отчета

- 7.1. Титульный лист
- 7.2. Цель работы
- 7.3. Задание к лабораторной работе
- 7.4. Функциональная схема измерений
- 7.5. Результаты измерений в виде графиков
- 7.6. Таблицы с результатами измерений и расчетов
- 7.7. Выводы по результатам измерений

8. Литература

1. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов/ И.А.Алдошина, Э.И.Вологдин, А.П.Ефимов, и др.; Под ред. Ю.А.Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007.- 872 с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА LR-5 ВС

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

1. Цель работы

Исследование работы воздушной линии проводного вещания с нагрузкой на ее конце и обоснование выбора метода частотной коррекции с использованием компьютерной программы SpectraLab

2. Задание к лабораторной работе

- Ознакомиться с программой SpectraLab в объеме, необходимом для исследования работы воздушной проводной линии с нагрузкой на конце.
- Исследование частотной зависимости затухания модуля входного сопротивления длинной линии в зависимости от нагрузки линии.
- Исследование частотной зависимости затухания модуля входного сопротивления линии в режимах холостого хода и короткого замыкания
- Исследование частотной зависимости затухания линии от нагрузки в рабочем диапазоне частот без использования частотной коррекции.
- Рассчитать параметры шунта для частотной коррекции.
- Исследование частотной зависимости затухания линии от нагрузки в рабочем диапазоне частот с использованием частотной коррекции.
- Исследование распределения затухания вдоль линии в режиме холостого хода на частотах 1000 и 8000 Гц.
- Сформулировать выводы и составить отчет по лабораторной работе

3. Функциональная схема измерений

На **рис.5.1.** приведена функциональная схема измерений характеристик макета симметричной длинной линии длиной 6 км. В этой схеме звуковая карта выполняет функции генератора тестовых сигналов, подаваемых на вход линии, и измерителя частотной зависимости затухания линии на базе скользящего

Модель линии состоит из двух дополнительных и 6 основных одинаковых блоков, являющихся эквивалентами симметричной линии длиной 1 км, эквивалента нагрузки и шунта. Эквивалент нагрузки включен в конце нагрузки. Он может моделировать нагрузку 320, 160, 80 и 40 абонентских точек.

Тестовые сигналы со звуковой карты подаются на транзисторный усилитель, формирующий симметричный относительно земли сигнал, который подается на вход

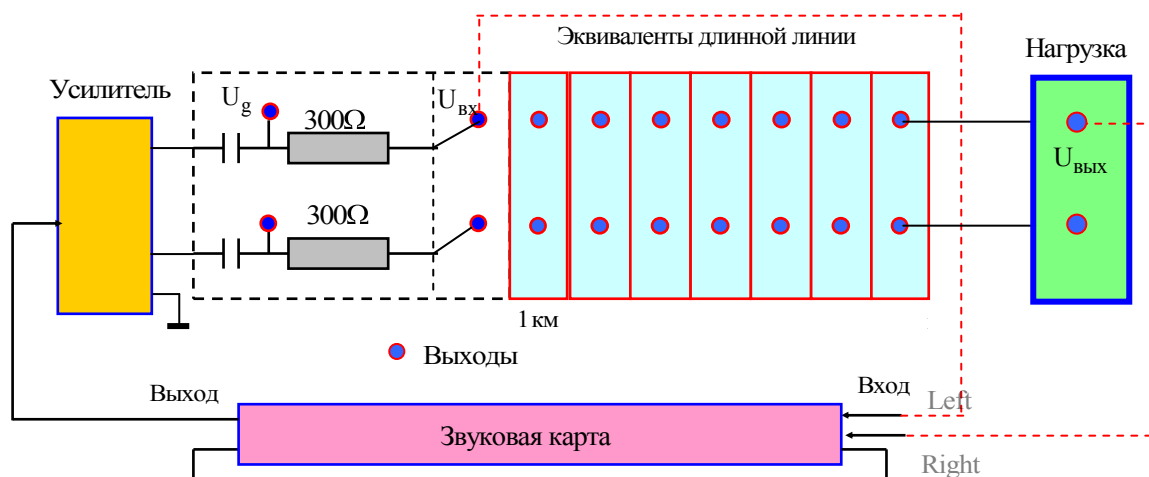


Рис.5.1. Функциональная схема измерений

линии. Такой усилитель имеет очень малое выходное сопротивление, поэтому для согласования с входом линии включены 2 резистора по 300 Ом. Эти же резисторы используются для измерения частотной зависимости модуля входного сопротивления линии.

При измерении затухания левый вход звуковой карты подключен к входу линии, а правый – к выходу эквивалента нагрузки.

В лабораторной работе используется модель симметричной линии (рис.5.2) с *перекрещивающимися выходами*. В приведенной схеме резисторы моделируют омическое сопротивление участка длинной линии, а также шунтируют индуктивности и емкости, понижая их добротности до необходимого значения. Такую схему не удастся преобразовать в не симметричную. Это приводит к необходимости некоторой коррекции расчетов. Так как звуковая карта измеряет напряжение относительно земли, то результат измерения надо удваивать.

К выходу каждого эквивалента линии может подключаться эквивалент нагрузки с переключаемым числом абонентов. Нагрузка представляет собой коробочку с номером

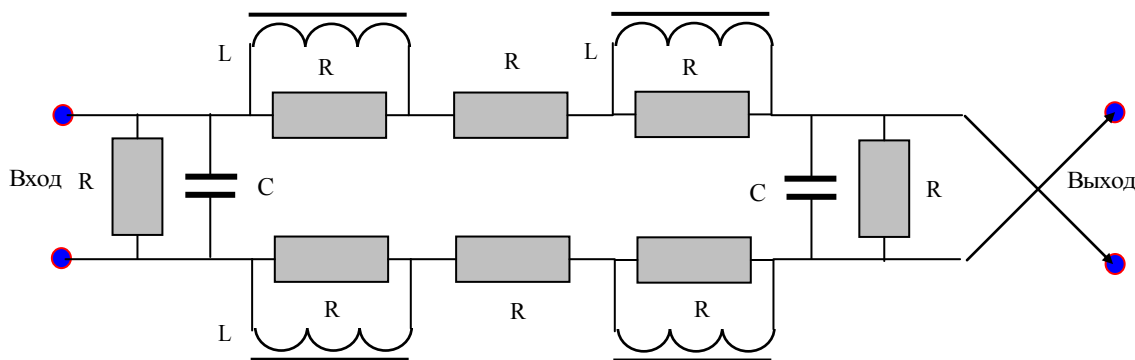


Рис.5.2. Эквивалентная схема отрезка длинной линии длиной 1 км

Н1 или **Н2** и переключателем на 4 положения: Н1(1) - 320, Н1(2)- 160, Н1(3)- 80 и Н1(4) - 40 абонентов. Н2(1) соответствует нагрузке 20 абонентов. Чтобы установить нагрузку надо вытащить черную головку переключателя из колодки и снова вставить так, чтобы стрелка на головке указывала на необходимое положение переключателя. В каждой коробочке размещен понижающий трансформатор, который моделирует понижение напряжения в линии 240 (120) вольт до 30 В у абонента. Сопротивление

нагрузки в рабочем диапазоне увеличивается с ростом частоты. При нагрузке 320 абонентов оно меняется от 750 до 1750 Ом, а при нагрузке 20 абонентов – от 5 до 10 кОм.

4. Методические указания

4.1. Параметры двухпроводных линий

В проводном вещании используются двухпроводные кабельные и воздушные линии. Как показано на рис. 5.3. и 5.4, электрическая схема элементарного отрезка такой линии состоит из включенных последовательно сопротивлений и параллельно проводимостей. Они пропорциональны длине отрезка. Коэффициентами пропорциональности являются

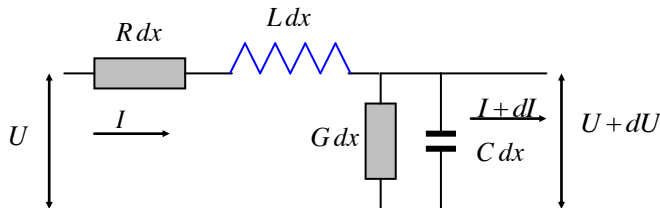


Рис.5.3. Эквивалентная схема элементарного отрезка не симметричной линии

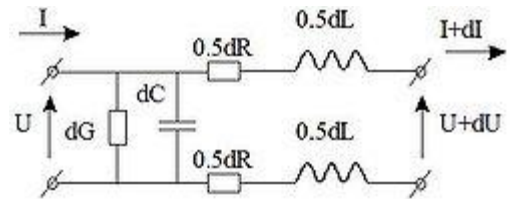


Рис.5.4. Эквивалентная схема элементарного отрезка симметричной линии

сопротивление, индуктивность, емкость и проводимость, отнесенные к единице длины. Они являются первичными параметрами линии, их обычно относят к 1 км длины. Единицами их измерения являются: R – Ом/км, L – Г/км, C – Ф/км и G – См/км. Первичные параметры зависят от температуры, и других климатических факторов. Кроме того, они зависят от частоты сигналов.

Симметричная и не симметричная линии значительно отличаются параметрами элементов схем. *Перекрещивание выходов* отрезков длинной линии позволяет значительно снизить наводки и помехи.

Свойства двухпроводной линии достаточно полно описываются волновыми параметрами: коэффициентом распространения γ и волновым сопротивлением Z_B . Они связаны соотношениями

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$$

$$Z_B = \sqrt{(R + j\omega L)/(R + j\omega C)}$$

Суммарное затухание напряжения сети на частоте 1 кГц не должно превышать 4 дБ. Для фидерных распределительных линий – затухание 2 – 3 дБ. Для абонентских линий, подключенных к первой половине распределительного фидера – затухание до 2 – 3 дБ. Для абонентских линий, подключенных ко второй

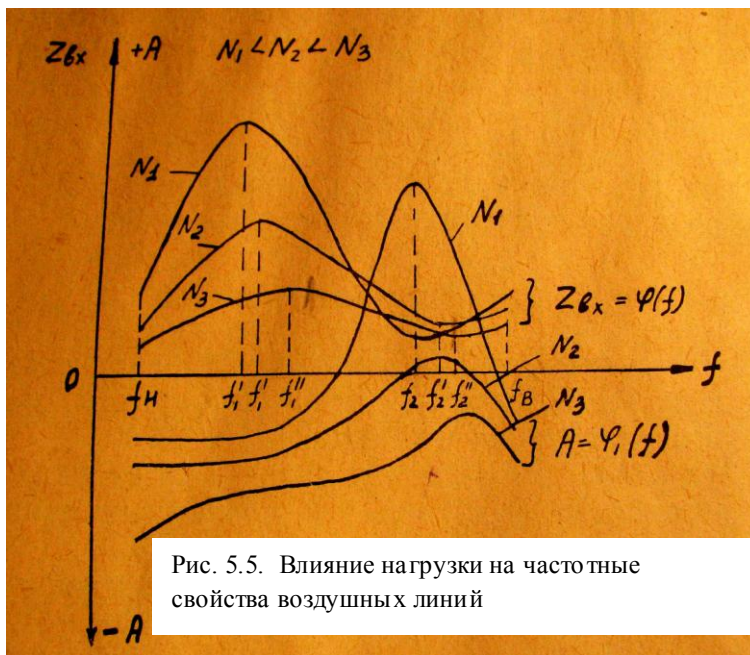


Рис. 5.5. Влияние нагрузки на частотные свойства воздушных линий

половине распределительного фидера – затухание 1 – 2 дБ. Неравномерность частотной характеристики на входе абонентской установки в рабочем диапазоне не должна превышать 4 дБ. Нормируемый спектр частот для линий 1 класса от 60 до 9600 Гц, для П

класса от 100 до 6000 Гц. Для городских распределительных фидерных линий рекомендуется напряжение 120 и 240 В.

На рис.5.5. приведены частотные зависимости затухания A и величины модуля входного сопротивления $Z_{вх}$ воздушной линии, длина которой на верхней рабочей частоте превышает четверть длины волны, а нагрузка, включенная в конце линии состоит из N_1, N_2 и N_3 абонентских устройств, причем $N_1 < N_2 < N_3$.

Для объяснения влияния нагрузки на частотные характеристики $A = \varphi_1(f)$ и $Z_{вх} = \varphi_2(f)$ можно воспользоваться упрощенной эквивалентной схемой линии на рис. 5.6., на которой распределенные параметры линии заменены сосредоточенными (умножены на длину линии l .) В этой схеме возможно возникновение двух резонансов: на частоте f_1 , при которой величина модуля входного сопротивления достигает максимальной величины, и последовательного на частоте f_2 , при которой значение

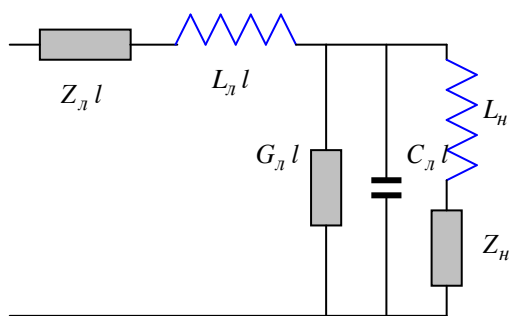


Рис.5.6. Эквивалентная схема длинной линии с нагрузкой на конце

модуля входного сопротивления минимально.

Затухание напряжения в области низких и средних частот мало зависит от частоты и определяется соотношением сопротивления нагрузки и продольным сопротивлением линии. С ростом частоты затухание уменьшается и достигает минимального значения на частоте f_2 , после которой наступает спад частотной характеристики в области верхних частот.

При увеличении нагрузки неравномерность частотной характеристики входного сопротивления воздушной линии уменьшается.

Это объясняется тем, что при подключении дополнительной нагрузки уменьшается ее суммарная индуктивность, и увеличиваются потери, что приводит к ослаблению колебательных процессов, увеличению минимального и уменьшению максимального значения модуля входного сопротивления, а также к смещению f_1 и f_2 в область высоких частот.

Неравномерность частотных характеристик затухания с увеличением нагрузки сначала уменьшается за счет уменьшения подъема в области высших частот, а затем, по мере дальнейшего увеличения нагрузки опять возрастает вследствие более резкого спада в области низких частот.

Колебательный режим работы линии возникает при одновременном выполнении следующих трех условий:

- Длина линии соизмерима с четвертью длины звуковой волны ($l_l = \frac{\lambda_f}{4}$).
- Фазовый угол постоянной распространения $\gamma = \alpha + j\beta$ больше 45° ($\alpha < \beta$).
- Сопротивление нагрузки в конце линии отличается от волнового ($Z_n \neq Z_0$).

При невыполнении любого из этих условий в линии устанавливается апериодический режим.

Длина волны электрических звуковых колебаний в проводной линии рассчитывается по формуле

$$\lambda_f = \frac{C}{f}, \text{ км,}$$

где скорость света $C = 300000$ км/с, чем выше частота звуковых колебаний, тем меньше длина волны. При $f = 10000$ Гц $\lambda = 30$ км и $\lambda_0 / 4 = 7,5$ км.

Характер распределения затухания вдоль линии в заданном частотном диапазоне определяется ее длиной, сравнимой с $\lambda_g/4$. Графики, приведенные на [рис.5.7.](#), относятся к линии длиной больше $\lambda_g/2$. В такой линии на частотах, при которых длина линии

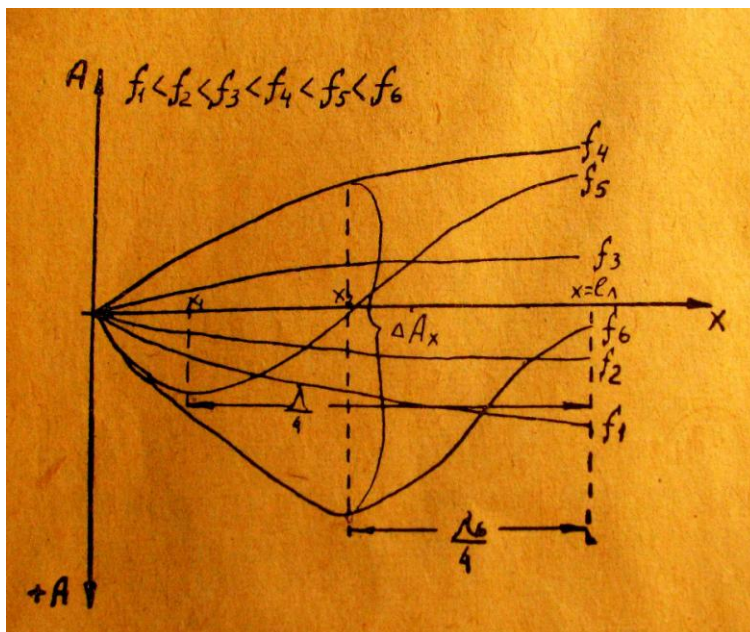


Рис.5.7. Распределение затухания напряжения вдоль линии в зависимости от частоты

много меньше $\lambda_f/4$ (это частоты f_1 и f_2) режим работы апериодический – затухание монотонно возрастает к концу линии. На частотах, при которых длина линии сравнима с $\lambda_f/4$, но меньше ее (это частоты f_3 и f_4), в конце линии возникает пучность напряжения и узел в начале линии.

На частотах, при которых длина линии больше $\lambda_f/4$ (это частоты f_5 и f_6), вдоль линии возникает колебательный процесс. Вследствие возникновения стоячих волн, на расстоянии от конца линии, равном $\frac{\lambda_5}{4}$, в точке X_1 возникает узел напряжения. По этой же причине на расстоянии, равном $\frac{\lambda_6}{4}$, в точке $X_2 = \frac{l}{2}$ также возникает узел напряжения. Дальнейшее увеличение частоты приводит к смещению узла напряжения к концу линии.

Пучности напряжения в начале линии не возникают, так как вследствие больших потерь в распределительных линиях амплитуда отраженной волны в начале линии мала. Как видно из [рис.5.7.](#) при длине линии, превышающей четверть длины волны на высшей частоте диапазона, неравномерность частотной характеристики в промежуточных точках линии ΔA_x может быть больше, чем в конце. При длине линии равной $\frac{\lambda_g}{4}$, неравномерность частотной характеристики в конце линии может оказаться в норме. ($\Delta A_x < 4dB$). Однако, наличие узла напряжения и, следовательно, пучности тока в начале линии может привести к резкому уменьшению входного сопротивления и возрастанию потребляемой линией мощности.

Линии проводного вещания, длина которых $l_n \leq \frac{\lambda_g}{4}$, как правило, требуют коррекции. В зависимости от соотношения между длиной линии и длиной волны на высшей частоте

рабочего диапазона применяются следующие методы коррекции:

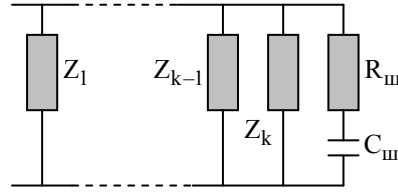


Рис.5.8. Схема включения шунта

1. Если частотная характеристика затухания напряжения имеет подъем в области высоких частот, а неравномерность частотной характеристики $\Delta A_x > 4dB$, или входное сопротивление линии меньше номинального, то в конце линии включается шунт RC (рис.5.8.). Этот шунт ослабляет колебательный режим в области высоких частот. Параметры шунта $R_{ш}$ и $C_{ш}$ определяются из условий:

$$|Z_{ш}| = (2...3) \cdot |Z_в|, R_{ш} = 0,9|Z_{ш}|, C_{ш} = \frac{2}{w_в R_{ш}}$$

2. Если длина линии превышает $\frac{\lambda_в}{4}$, а $8,7\alpha_в l_n - A_{1000} \leq 4dB$ (где $\alpha_в$ – коэффициент затухания при $f_в$; A_{1000} – затухание на частоте 1000 Гц), то в конце линии включается шунт RC. Этот шунт согласует сопротивление нагрузки в конце линии с волновым сопротивлением на верхней частоте рабочего диапазона. Параметры шунта $R_{ш}$ и $C_{ш}$ в этом случае определяются из условий:

- а) для стальных линий, $|Z_{ш}| = 2 \cdot |Z_в|$,
- б) для биметаллических линий, $|Z_{ш}| = |Z_в|$

$$R_{ш} = 0,9|Z_{ш}|, C_{ш} = \frac{2}{w_в R_{ш}}$$

Значения $8,7\alpha_в l_n = \varphi(l)$ для стальных линий диаметром 3 мм на частоте 6000 Гц и для биметаллических линий диаметром 3 мм на частоте 9600 Гц определяются по графикам на рис. 5.9.

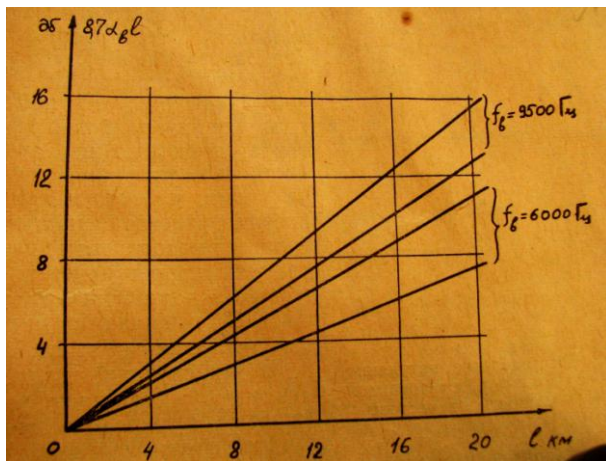


Рис.5.9. Зависимость собственного затухания от длины для стальных и биметаллических линий

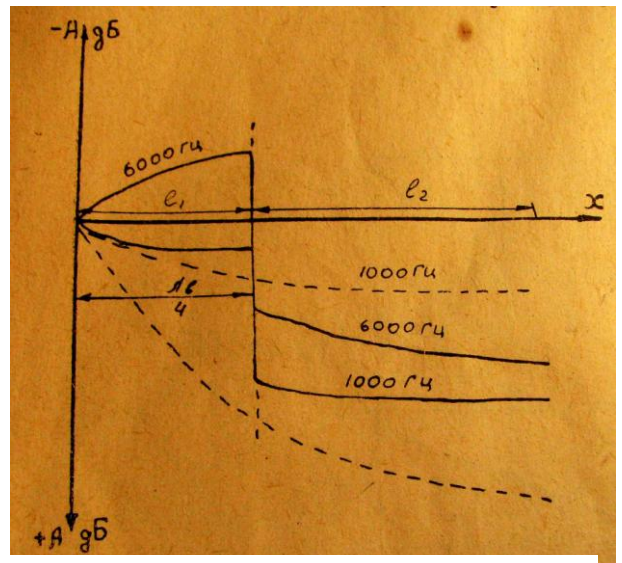


Рис. 5.10. Распределение затухания напряжения вдоль скорректированной линии в зависимости от частоты

3. Если длина линии $l_l > \frac{\lambda_g}{4}$, а $8,7\alpha_g l_l - A_{1000} > 4dB$, то линия корректируется с помощью понижающего трансформатора. Этот трансформатор разделяет линию на две участка, в которых на верхней частоте устанавливается практически независимый режим работы. Длина первого участка от начала линии выбирается равной $\frac{\lambda_g}{4}$.

На рис.5.10. приведены кривые распределения затухания напряжения вдоль линии на средней частоте 1000 Гц и на высокой частоте (6000 Гц) в случае ее коррекции шунтом RC (пунктирные кривые) и разделительным трансформатором (сплошные кривые). Из сопоставления этих кривых видно, что коррекция с помощью трансформатора более эффективно уменьшает неравномерность частотной характеристики линии.

Частотная характеристика участка линии после трансформатора при необходимости корректируется шунтом RC, параметры которого $R_{ш}$ и $C_{ш}$ выбираются из условий, приведенных выше.

Предельная длина линий, при которой возможна коррекция с помощью трансформатора, составляет для стальных линий 20 км, а для биметаллических – 25...30 км. Если длина линии больше 20...30 км, то для коррекции ее частотной характеристики применяется метод пупинизации.

4.2. Режимы работы линий

Характерной особенностью длинных линий является проявление интерференции двух волн, распространяющихся навстречу друг другу. Одна из этих волн создается подключенным к линии генератором электромагнитных колебаний, и называется **падающей**. Другая волна называется **отражённой**, и возникает из-за отражения падающей волны от нагрузки, подключенной к противоположному концу линии. Все разнообразие процессов, происходящих в длинной линии, определяется амплитудно-фазовыми соотношениями между падающей и отраженной волнами.

Различают три режима работы линии:

- режим бегущей волны;
- режим стоячей волны;
- режим смешанных волн.

Режим бегущей волны

Режим бегущей волны характеризуется наличием только падающей волны, распространяющейся от генератора к нагрузке. Отраженная волна отсутствует. Мощность, переносимая падающей волной, полностью выделяется в нагрузку. В этом режиме $\mathbf{V}_U = 0$, $|\Gamma| = 0$, $k_{св} = k_{бв} = 1$

где $\Gamma = \mathbf{B}_U / \mathbf{A}_U$ — комплексный коэффициент отражения по напряжению. По эпюре напряжения судят о степени согласования линии с нагрузкой. Для этого вводятся понятия коэффициента бегущей волны — $k_{бв}$ и коэффициента стоячей волны $k_{св}$

Режим стоячей волны

Режим стоячей волны характеризуется тем, что амплитуда отраженной волны равна амплитуде падающей $\mathbf{V}_U = \mathbf{A}_U$ то есть энергия падающей волны полностью отражается от нагрузки и возвращается обратно в генератор. В этом режиме, $|\Gamma| = 1$, $k_{св} = \infty$, $k_{бв} = 0$.

Режим смешанных волн

В режиме смешанных волн амплитуда отраженной волны удовлетворяет условию $0 < \mathbf{V}_U < \mathbf{A}_U$ то есть часть мощности падающей волны теряется в нагрузке, а оставшая часть в виде отраженной волны возвращается обратно в генератор. При этом $0 < |\Gamma| < 1$, $1 < k_{св} < \infty$, $0 < k_{бв} < 1$

Разомкнутая линия

В этом случае ток, протекающий через нагрузку равен нулю ($I_H = 0$), поэтому эюры для напряжения, тока и входного сопротивления в линии принимают вид:

На **рис.5.11** эти зависимости проиллюстрированы графически. Из графиков следует:

- в линии, разомкнутой на конце, устанавливается режим стоячей волны,

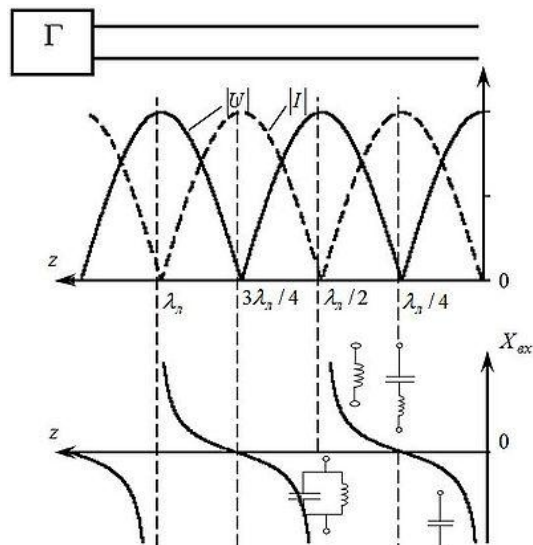


Рис.5.11. Эюры напряжений, тока и входного сопротивления разомкнутой линии

напряжение, ток и входное сопротивление вдоль линии изменяются по периодическому закону с периодом $\lambda_L/2$;

- входное сопротивление разомкнутой линии является чисто мнимым за исключением точек с координатами $z = n\lambda_L/4$, $n = 0, 1, 2, \dots$;
- если длина разомкнутой линии меньше $\lambda_L/4$, то такая линия эквивалентна емкости;
- разомкнутая на конце линия длиной $\lambda_L/4$ эквивалентна последовательному резонансному на рассматриваемой частоте контуру и имеет нулевое входное сопротивление;
- линия, длина которой лежит в интервале от $\lambda_L/4$ до $\lambda_L/2$, эквивалентна индуктивности;
- разомкнутая на конце линия длиной $\lambda_L/2$ эквивалентна параллельному резонансному контуру на рассматриваемой частоте и имеет бесконечно большое входное сопротивление.

Замкнутая линия

В этом случае напряжение на нагрузке равно нулю ($U_H = 0$), поэтому эпюры

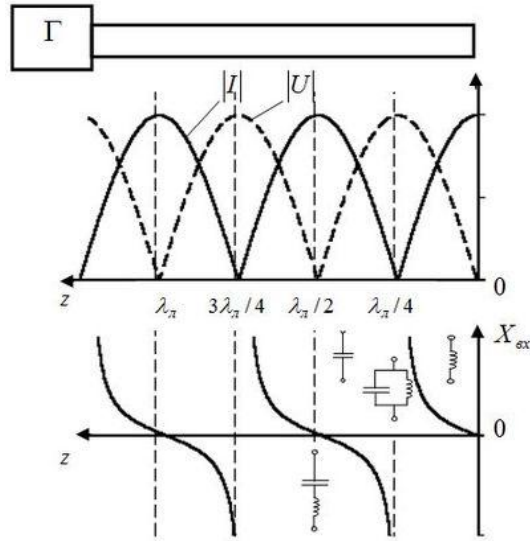


Рис.5.12. Эпюры напряжений, тока и входного сопротивления замкнутой линии

напряжения, ток и входное сопротивление в линии принимают вид (рис.5.12):

Отметим лишь, что в замкнутой линии также устанавливается режим стоячей волны. Отрезок короткозамкнутой линии, длиной меньше $\lambda_{\pi}/4$ имеет индуктивный характер входного сопротивления, а при длине $\lambda_{\pi}/4$ такая линия имеет бесконечно большое входное сопротивление на рабочей частоте.

Активная нагрузка

В этом случае ток и напряжение на нагрузке R_H связаны соотношением $U_H = I_H R_H$. Отсюда следует, что можно выделить три случая:

Сопротивление нагрузки равно волновому сопротивлению линии $R_H = W$

Сопротивление нагрузки больше волнового сопротивления линии $R_H > W$

Сопротивление нагрузки меньше волнового сопротивления линии $R_H < W$

В первом случае $|U| = U_H$, то есть распределение амплитуды напряжения вдоль линии остается постоянным, равным амплитуде напряжения на нагрузке. Это соответствует режиму бегущей волны в линии.

4.3. Комментарии к измерениям

4.3.1. Затухание

Важнейшей характеристикой линии проводного вещания является затухание, которое определяется по формуле

$$A(f) = 20 \cdot \log \left[\frac{U_{\text{вблх}}}{U_{\text{вх}}} \right]$$

и измеряется в децибелах. Затухание может быть отрицательным и положительным.

4.3.2. Частотная зависимость затухания модуля входного сопротивления

Модуль входного сопротивления линии зависит от частоты f , нагрузки линии R_n и определяется равенством

$$|Z(f, R_n)_{ex}| = \frac{U_{ex}}{I_{ex}}$$

Для измерения входного тока $I(f)_{ex}$ включается дополнительный резистор в каждый провод линии (рис.5.1). Как выбрать величину сопротивления резистора. Этот резистор, вместе с выходным сопротивлением усилителя, шунтирует входное сопротивление линии, и таким образом скрывают его сильную частотную зависимость.

Для выявления этой зависимости необходимо измерения проводить с генератором тока, у которого выходное сопротивление значительно больше, чем максимальное сопротивление входной линии. Технически это реализовать очень трудно, так как при этом напряжение на входе линии сильно падает и, поэтому значительно ухудшается отношение сигнал-шум. Поэтому в лабораторной работе использованы резисторы по 300 Ом. Эти же резисторы осуществляют согласование линии с выходным сопротивлением генератора.

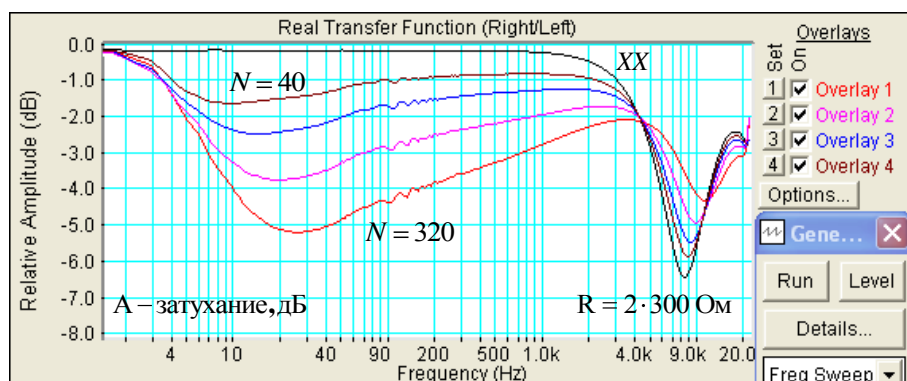


Рис.5.13. Частотная зависимость затухания модуля входного сопротивления, когда сигнал подается на вход через вспомогательные резисторы 2x300 Ом

Измерения проводились при изменении нагрузки : 320, 160, 80 и 40 абонентов и в холостом ходу (XX). Как видно из рис.5.13., частотная зависимость $|Z(f, R_n)_{ex}|$ имеет два минимума затухания и слабо выраженный максимум. Все первые минимумы частотной зависимости находятся ниже нижней границы рабочего диапазона частот. Затухание на этих минимумах тем больше, чем больше нагрузка линии.

Минимумы затухания на верхних частотах находятся в рабочем диапазоне частот, и максимальная величина затухания достигает -6 дБ. Причем затухание тем больше, чем меньше нагрузка линии.

4.3.3. Определение модуля входного сопротивления линии

С использованием компьютера наиболее просто модуль входного сопротивления определить через коэффициент передачи цепи K (%): добавочный резистор – входное сопротивление. В этом случае этот модуль определяется равенством

$$|Z_{ex}| = \frac{K \cdot 2 \cdot 300}{100 - K}$$

На рис.5.14. приведены графики коэффициента передачи при разных нагрузках линии,

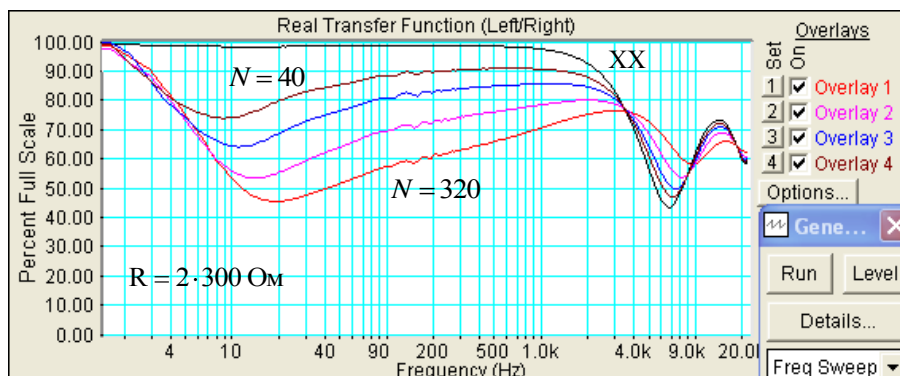


Рис.5.14. Частотная зависимость коэффициента передачи $K(\%)$

из которых следует, что в рабочем диапазоне частот K меняется от 45 до 90%. Сопротивление модуля достаточно рассчитывать только для максимального и минимального значений коэффициента передачи. Этот расчет легко выполняется с помощью графика, приведенного на рис.5.15. По этому графику определяем, что в рабочем диапазоне частот модуль входного сопротивления меняется от 500 до 5000 Ом.

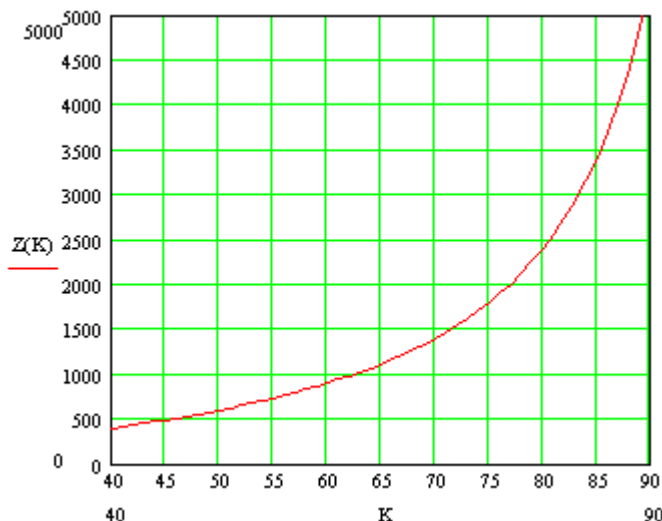


Рис.5.15. График расчета модуля входного сопротивления через коэффициент передачи K

4.3.4. Частотная зависимость затухания линии с нагрузкой в конце

Частотная зависимость затухания от нагрузки в конце линии характеризуется графиками, приведенными на рис.5.16. Максимумы затухания в рабочем диапазоне частот имеют место только на высокой частоте, максимум тем больше, чем меньше нагрузка. Эти максимумы определяются параллельным резонансом линии. Как видно, последовательный резонанс, очень резко выраженный, находится выше за пределами рабочего диапазона частот.

Неравномерность частотной зависимости затухания определяется как размах между максимальным и минимальными значениями затухания в рабочем диапазоне частот, измеряется неравномерность в децибелах. Неравномерность затухания без частотной коррекции при всех нагрузках не превышает 4-5 дБ.

При частотной коррекции она понижается до 2 дБ. Чем больше нагрузка тем менее эффективно действует частотная коррекция.

4.3.5. Частотная коррекция линии с нагрузкой в конце линии

Для расчета корректирующего устройства необходимо знать верхнюю границу частотного диапазона f_6 , модуль волнового сопротивления линии $|Z_6|$ и длину волны электрических колебаний в линии на верхней частоте λ_6 .

Верхняя граница частотного диапазона определяется по графикам частотной зависимости затухания линии (рис.5.16) по минимуму неравномерности затухания. Это 10 кГц. Модуль $|Z_6|$ может быть рассчитан с использованием равенства

$$|Z_6| = \sqrt{|Z_{xx}| \cdot |Z_{кз}|},$$

где $|Z_{xx}|$ и $|Z_{кз}|$ – модули входного сопротивления линии на верхней граничной частоте в режиме холостого хода и короткого замыкания. Они могут быть измерены точно также как модуль входного сопротивления по нагрузке.

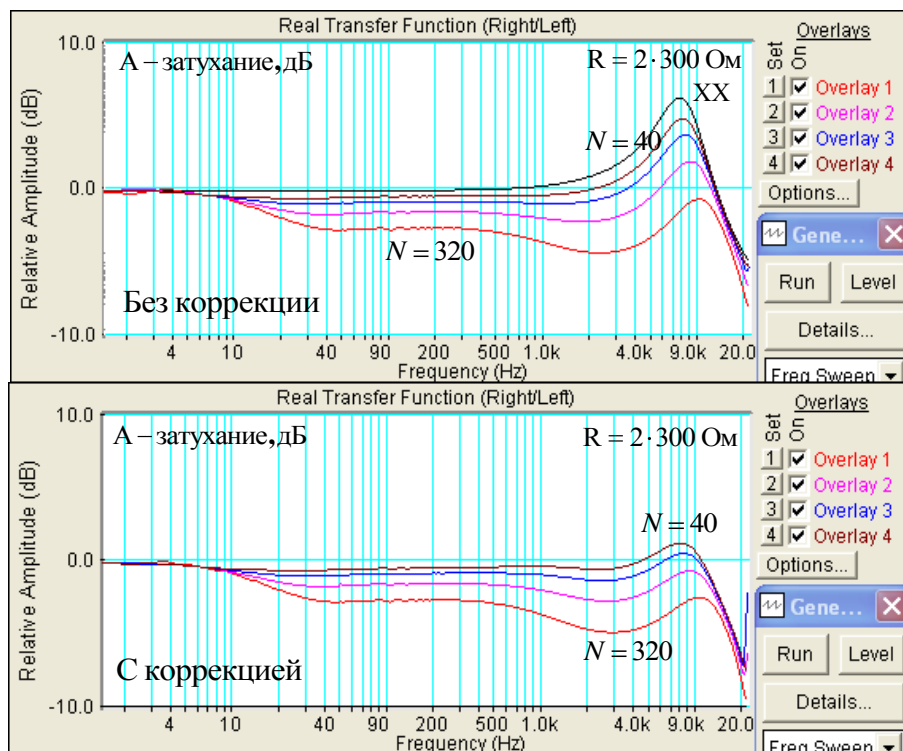


Рис.5.16. Частотная зависимость затухания от нагрузки

На рис.5.17 приведены графики передаточных функций в функции частоты для $|Z_{xx}|$ и $|Z_{кз}|$. Из этих графиков находим, что на 10 кГц $K_{xx} = 75\%$ и $K_{кз} = 65\%$. По графику на рис.5.15 находим: $Z_{xx} = 2 \cdot 300 \text{ Ом}$ и $Z_{кз} = 300 \text{ Ом}$, тогда $|Z_6| = 450 \text{ Ом}$.

Для определения характера распределения колебаний вдоль линии необходимо рассчитать длину волны электромагнитных колебаний в линии на высшей частоте диапазона и сравнить ее с длиной линии. Длина волны определяется равенством

$$\lambda_6 = \frac{C}{f_6},$$

где C – скорость света, $C = 300000$ км/с, $\lambda_g = 30$ км, $\lambda_g/4 = 7,5$ км. Длина заданной линии $l_l = 6$ км, поэтому $l_l < \lambda_g/4$ и, следовательно, вдоль линии будет колебательный характер распределения напряжений.

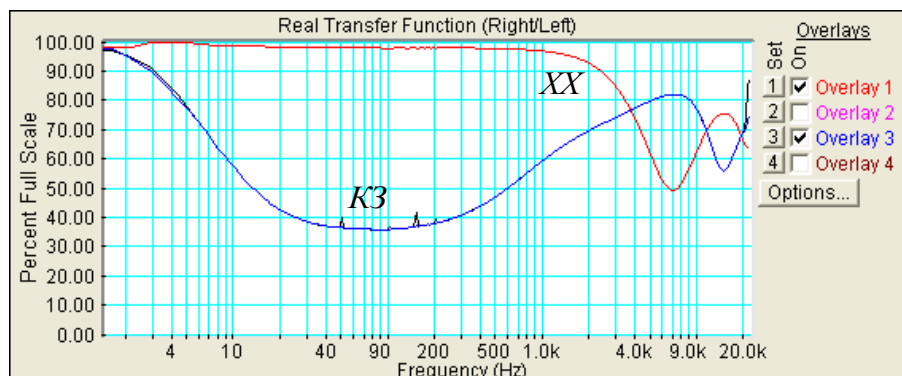


Рис.5.17. Частотная зависимость модулей входного сопротивления линии в режимах XX и K3.

Далее по формулам для стальных линий:







$$|Z_{ш}| = 2 \cdot |Z_g|, \quad R_{ш} = 0,9 |Z_{ш}|, \quad C_{ш} = \frac{2}{w_g R_{ш}}.$$

рассчитываются параметры шунта:

$$R_{ш} = \text{Ом.} \quad C_{ш} = \text{нф}$$

5. Порядок выполнения работы

5.1. Функции кнопок управления:


- кнопкой с пиктограммой  осуществляется автоматическая установка пределов измерения по вертикальной оси шкалы анализатора спектра, фазометра или осциллографа
- кнопкой с пиктограммой  устанавливается частотный диапазон шкалы от 1 Гц до частоты Найквиста
- кнопкой с пиктограммой  вызывается маркер, которым устанавливается желаемый частотный диапазон шкалы
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются тонкими линиями
- при нажатии кнопки с пиктограммой  графики рисуются вертикальными линиями или столбиками
- кнопкой с пиктограммой  открывается меню анализатора спектра, фазометра или осциллографа, в котором вводятся необходимые опции.
- кнопкой **Run** включаются все измерительные приборы
- кнопкой **Stop** выключаются все измерительные приборы и запоминаются результаты измерений
- в меню **Avg** задается число усредняемых результатов измерения
- в окошке **Peak Hold** курсором включается функция удержания пиковых значений напряжения


5.2. Подготовка к измерениям


- Включите компьютер и усилитель

- Скопируйте с рабочего стола файл «Отчет LR-5 ВС» на свою флешкарту, дайте ему свое имя в виде: «Группа»_ «Фамилия (работавшего на клавиатуре)»_ «Номер ЛР»_ «Дата».
- Откройте этот файл и сверните его окно.

В файл этого отчета вы будете копировать все экспериментальные графики, и заносить в таблицы отчета результаты измерений сразу в процессе их получения. В день выполнения лабораторной работы отчет в электронном виде необходимо сдать преподавателю, только тогда работа считается выполненной.

- Кнопкой с пиктограммой  откройте окно программы **SpectraLab**. Не меняйте размеры этого окна, они согласованы с Вашим отчетом
- Сделайте обязательные установки в микшере **Play Control**


Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте его окно. Затем после команд **Параметры** \Rightarrow **Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Воспроизведение**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Play Control**, **Wave (Звук)** и **Line in**, по команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором включите первые два регулятора и поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы. Регулятор **Line in** **обязательно выключите**. Сделайте обязательные установки в микшере **Record Control**

Для этого двойным нажатием кнопки с пиктограммой  откройте окно микшера **Play Control**. Затем после команд **Параметры** \Rightarrow **Свойства** в появившемся окне **Свойства** выберите режим **Запись**. В выпадающем меню этого окна курсором отметьте регуляторы **Microphone** и **Line in**. По команде **ОК** окна этих регуляторов появляются на экране монитора. Курсором поставьте их ползунки в верхнее положение шкалы.

- Установите в конце линии нагрузку, поставьте переключатель нагрузки в положение 1 (320 абонентов)
- Загрузите файл **LR-5.1 ВС.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-5.1 ВС.cfg**.

По этой команде включается генератор сигналов с частотой 1 кГц и звуковая карта переключается в режим вольтметра, на дисплее появляется его шкала.

- Подключите вход звуковой карты левого канала (**красный штекер**) к выходу второй коробочки линии (это вход линии).
- Нажмите кнопку **Run**
- Вращая регулятор громкости усилителя, установите по индикатору **Power Level** входное напряжение линии 1 В, если надо, кнопкой  выберите шкалу вольтметра.

5.3. Измерение частотной зависимости $|Z(f)_{\text{ex}}|$

- Загрузите файл **LR-5.2 ВС.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-5.2 ВС.cfg**.

По этой команде включается генератор сигнала скользящего тона, и звуковая карта переключается в режим измерения затухания, на дисплее появляется шкала измерителя.

- Подключите к выходу линии нагрузку и поставьте переключатель нагрузки в положение 1 (320 абонентов).
- Подключите вход звуковой карты левого канала (**красный штекер**) к выходу первой коробочки линии (это выход генератора), подключите вход звуковой карты правого канала (**черный штекер**) к выходу второй коробочки линии (это вход линии).
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде начинается измерение. Через 20-30 с, когда график перестанет меняться, нажмите кнопку **Stop**.

- Запомните этот график.

Для этого нажмите кнопку ячейки **1 Set**

- Повторите измерения при переключении нагрузки в положения 2, 3 и 4, при этом запоминая графики в ячейках 2, 3 и 4
- Сохраните все графики.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **“Copy as a bitmap”**. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка.

5.4. Измерение модуля входного сопротивления $|Z(f)_{ex}|$

- Загрузите файл **LR-5.3 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-5.3 BC.cfg**.

По этой команде включается генератор сигнала скользящего тона, и звуковая карта переключается в режим измерения коэффициента передачи, на дисплее появляется шкала измерителя.

- Подключите к выходу линии нагрузку и поставьте переключатель нагрузки в положение 1 (320 абонентов).
- Подключите вход звуковой карты левого канала (**красный штекер**) к выходу первой коробочки линии, подключите вход звуковой карты правого канала (**черный штекер**) к выходу второй коробочки линии.
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде начинается измерение. Через 20-30 с, когда график перестанет меняться, нажмите кнопку **Stop**.
- С помощью курсора измерьте максимальное и минимальное значения коэффициента передачи в рабочем диапазоне частот.

Для этого поставьте курсор на максимальное значение коэффициента передачи графика и нажмите левую кнопку мышки – появится перекрестие с указанием частоты и уровня, запомните это значение. Затем поставьте курсор на минимальное значение коэффициента передачи графика и нажмите левую кнопку мышки – появится перекрестие с указанием частоты и уровня, запомните это значение. Результаты занесите в **табл. 5.1**.

- Запомните этот график.

Для этого нажмите кнопку ячейки **1 Set**

- Повторите измерения при переключении нагрузки в положения 2, 3 и 4, при этом сохраняя графики в ячейках 2, 3 и 4 и занося результаты измерения коэффициента передачи в **табл.5.1**.

| Табл.5.1. Модуль входного сопротивления, Ом | | | | |
|---------------------------------------------|-----|-----|----|----|
| Нагрузка, число абонентов | 320 | 160 | 80 | 40 |
| Макс. коэффициент передачи | | | | |
| Мин. Коэффициент передачи | | | | |
| Макс. сопротивление | | | | |
| Мин. сопротивление | | | | |

- Сохраните все графики.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **“Copy as a bitmap”**. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка.

- По формуле

$$|Z_{ex}| = \frac{K \cdot 2 \cdot 300}{100 - K}$$

или с помощью графика на [рис.5.16](#). вычислите все значения модуля входного сопротивления, результаты занесите в [табл.5.1](#).

5.5. Измерение модуля волнового сопротивления $|Z_{\text{в}}|$

- Загрузите файл **LR-5.3 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-5.3 BC.cfg**.

По этой команде включается генератор сигнала скользящего тона, и звуковая карта переключается в режим измерения коэффициента передачи, на дисплее появляется шкала измерителя.

- Подключите вход звуковой карты левого канала (**красный штекер**) к выходу первой коробочки линии, подключите вход звуковой карты правого канала (**черный штекер**) к выходу второй коробочки линии.
- *Снимите нагрузку с конца линии (режим ХХ).*
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде начинается измерение. Через 20-30 с, когда график перестанет меняться, нажмите кнопку **Stop**.
- Запомните этот график.

Для этого нажмите кнопку ячейки **1 Set**

- С помощью курсора измерьте значения коэффициента передачи на частоте 10 кГц. Для этого поставьте курсор на частоту 10 кГц и нажмите левую кнопку мышки – появится перекрестие с указанием частоты и коэффициента передачи. Этот результат занесите в табл. 5.2.
- *Закоротите выход линии с помощью перемычки (Режим КЗ).*
- Повторите измерения коэффициента передачи в этом режиме.

| Режим | ХХ | КЗ |
|-----------------------------------|----|----|
| Коэффициент передачи К | | |
| Модуль входного сопротивления, Ом | | |

- Сохраните графики.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **“Copy as a bitmap”**. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка.

- По формуле

$$|Z_{\text{в}}| = \frac{K \cdot 2 \cdot 300}{100 - K}$$

или с помощью графика на [рис.5.15](#). вычислите значения модуля волнового сопротивления в двух режимах работы линии, результаты занесите в [табл.5.2](#).

5.6. Измерение частотной зависимости затухания линии без частотной коррекции

- Загрузите файл **LR-5.4 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-5.4 BC.cfg**.

- Подключите к выходу линии нагрузку и поставьте переключатель нагрузки в положение 1 (320 абонентов).

- Подключите вход звуковой карты левого канала (**красный штекер**) к выходу второй коробочки линии, подключите вход звуковой карты правого канала (**черный штекер**) к выходу эквивалента нагрузки.
- Нажмите кнопку **Run**. По этой команде начинается измерение. Через 20-30 с, когда график перестанет меняться, нажмите кнопку **Stop**.
- С помощью курсора измерьте по графику неравномерность частотной зависимости затухания в рабочем диапазоне частот.

Для этого поставьте курсор на максимальное значение затухания и нажмите левую кнопку мышки – появится перекрестие с указанием частоты и уровня, запомните это значение. Затем поставьте курсор на минимальное значение затухания и нажмите левую кнопку мышки – появится перекрестие с указанием частоты и уровня, запомните это значение. Вычислите размах и занесите результат в **табл.5.3**

| Табл.5.3. Неравномерность частотной зависимости затухания, дБ | | | | |
|---------------------------------------------------------------|-----|-----|----|----|
| Нагрузка, число абонентов | 320 | 160 | 80 | 40 |
| Без коррекции | | | | |
| С коррекцией | | | | |

- Запомните этот график.

Для этого нажмите кнопку ячейки **1 Set**

- Повторите измерения при переключении нагрузки в положения 2, 3 и 4, при этом сохраняя графики в ячейках 2, 3 и 4 и заноса результаты измерения неравномерности затухания в **табл.5.3**.
- Сохраните все графики.

Для этого левой клавишей мышки направьте курсор на график, затем нажмите правую клавишу мышки, в появившемся на экране меню выберите команду **“Copy as a bitmap”**. Откройте файл вашего отчета и вставьте в него график, подпишите название рисунка

5.7. Расчет элементов частотного корректора (шунта)

По формулам:

$$|Z_{\epsilon}| = \sqrt{|Z_{xx}| \cdot |Z_{кз}|}, \quad |Z_{ш}| = 2 \cdot |Z_{\epsilon}|, \quad R_{ш} = 0,9 |Z_{ш}|, \quad C_{ш} = \frac{2}{w_{\epsilon} R_{ш}}, \quad \lambda_{\epsilon} = \frac{C}{f_{\epsilon}}$$

рассчитайте модуль входного сопротивления, сопротивление, емкость шунта и чему равна четверть длины волны. Результаты занесите в отчет.

5.8. Измерение частотной зависимости затухания линии с частотной коррекцией

- Подключите к выходу линии нагрузку и поставьте переключатель нагрузки в положение 1 (320 абонентов).
- Подключите к нагрузке корректирующую цепочку (шунт)
- Подключите черный штекер к выходу шунта
- Повторите все измерения по п.5.6. и занесите результаты измерений в **табл.5.3**.

5.9. Измерение распределения затухания вдоль линии

- Снимите нагрузку с конца линии (режим холостого хода без нагрузки)
- Загрузите файл **LR-5.5 BC.cfg**, который конфигурирует схему измерений и устанавливает все необходимые опции для выполнения лабораторной работы.

Для этого в меню **Config** выберите опцию **Load Configuration** и в выпадающем меню выберите файл **LR-5.5BC.cfg**.

По этой команде включается генератор сигналов с частотой 1 кГц и звуковая карта переключается в режим вольтметра со шкалой в децибелах.

- Подключите вход звуковой карты левого канала (красный штекер) к выходу второй коробочки линии (это вход линии).
- Нажмите кнопку Run и по индикатору Power Level регулятором усилителя установите уровень напряжения на входе линии минус 6 дБ.
- Вставляя штекер, последовательно измерьте уровень напряжения на выходах всех 6 коробочек, результаты занесите в табл. 5.4.
- Установите частоту на 8000 Гц

Для этого нажмите кнопку Details на панели генератора. По этой команде появится окно частот. В этом окне курсором уберите галочку в окошке 1000 Гц и поставьте галочку в окошке 8000 Гц.

- Подключите вход звуковой карты левого канала (красный штекер) к выходу второй коробочки линии (это вход линии).
- Нажмите кнопку Run и по индикатору Power Level регулятором усилителя установите уровень напряжения на входе линии минус 6 дБ.
- Последовательно измерьте уровень напряжения на выходах всех 6 коробочек, последовательно вставляя в них штекер, результаты занесите в табл. 5.4.

| | Вход | 1 км | 2 км | 3 км | 4 км | 5 км | 6 км |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1000 Гц | -6 | | | | | | |
| 8000 Гц | -6 | | | | | | |

6. Контрольные вопросы

1. Перечислите и поясните, что такое первичные параметры длинной линии
2. Что понимается под вторичными параметрами длинной линии
3. Нарисуйте и поясните эквивалентную схему длинной линии
4. Зачем перекрещивают выходы отрезков длиной линии
5. Что такое волновое сопротивление линии
6. Перечислите режимы работы линии
7. В каких условиях в линии возникают стоячие волны
8. Дайте определение понятиям «пучность» и «узел»
9. В каких условиях линия работает без потерь
10. Как корректируются частотные искажения в длинной линии
11. При каких условиях напряжение на выходе линии больше, чем на входе

7. Содержание отчета

- 7.1. Титульный лист
- 7.2. Цель работы
- 7.3. Задание к лабораторной работе
- 7.4. Функциональная схема измерений
- 7.5. Результаты измерений в виде графиков
- 7.6. Таблицы с результатами измерений и расчетов
- 7.7. Выводы по результатам измерений

8. Литература

1. Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов/ И.А.Алдошина, Э.И.Вологдин, А.П.Ефимов, и др.; Под ред. Ю.А.Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007.- 872 с.
2. Гензель Г.С., Полферова Г.С. Методы расчета линий проводного вещания. Изд. ЛЭИС, 1967.