

# Инженерия звука

---

## Цель

Достичь максимальных показателей звуковоспроизведения при настройке системы.

# Инженерия звука

---

Какие показатели

- Максимально ровная (или другая желанная) АЧХ во всех зонах покрытия
- Равномерное покрытие нужных зон без заметных переходов
- Избегание покрытия зон, которые не надо покрывать
- Адекватность звучания для поставленных целей

# Инженерия звука

---

## Инструменты

- Понимание (свойства акустических волн, частота, фаза, полярность, правила суммирования волн)
- Фильтры (LP, HP Shelving, Bell, All-pass)
- Кроссоверы
- Диаграмма направленности элементов
- Позиции и углы элементов
- Задержка

# Инженерия звука

---

Скорость звука в воздухе  $V$  (m/s)

$$V = 331.4 + 0.607 * T$$

Где  $T$  – температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ )

$$331.4 + 0.607 * 20^{\circ}\text{C} = 343.54 \text{ m/s}$$

# Инженерия звука

---

Фаза

1 Цикл –  $360^\circ$

$\frac{1}{2}$  Цикла –  $180^\circ$

$\frac{1}{4}$  Цикла –  $90^\circ$

# Инженерия звука

---

Длина волны (полный цикл)

$$\lambda(m) = V / F$$

$$\lambda(ms) = 1000 / F$$

Где  $V$  – скорость звука,  $F$  – частота

...примеры

$$344 / 100 = 3.44m \text{ (при } 100Hz)$$

$$1000 / 100 = 10ms \text{ (при } 100Hz)$$

# Инженерия звука

---

Соотношение фазы ( не полный цикл )

Фаза – время

$$t = 1000 / F * ( \phi / 360^\circ )$$

где F – частота,  $\phi$  – угол фазы

...пример 100Hz, 180°

$$1000 / 100 * ( 180 / 360^\circ ) = 5 \text{ ms}$$

# Инженерия звука

---

Соотношение фазы ( не полный цикл )

Фаза – расстояние

$$\lambda = V / F * ( \phi / 360^\circ )$$

где V – скорость звука, F – частота,  $\phi$  – угол фазы

...пример 100Hz, 180°

$$344 / 100 * ( 180 / 360^\circ ) = 1.72\text{m}$$

# Инженерия звука

---

Соотношение фазы

Длина полной волны – частота

$$F = V / d$$

где V – скорость звука, F – частота, d – расстояние

...пример 1.72m

$$344 / 1.72\text{m} = 200 \text{ Hz}$$

# Инженерия звука

---

## Соотношение фазы

Длина неполной волны – частота

$$F = (V / d) * ( \phi / 360 )$$

где V – скорость звука, F – частота, d – расстояние,  $\phi$  – угол фазы

...пример 1.72m, 180°

$$( 344 / 1.72 \text{ m} ) * ( 180^\circ / 360 ) = 100 \text{ Hz}$$

# Инженерия звука

---

Соотношение фазы

Расстояние – время

$$t = 1000 / V * d$$

где V – скорость звука (m/s), d – расстояние (m)

...пример 1m

$$1000 / 344 * 1m = 2.9 \text{ ms}$$

# Инженерия звука

---

Децибел

Относительный уровень звукового давления, напряжения, тока

$$\text{SPL, V, I (dB)} = 20 \times \log_{10} ( \text{meas} / \text{ref} )$$

Относительная мощность

$$W \text{ (dB)} = 10 \times \log_{10} ( \text{meas} / \text{ref} )$$

Абсолютный уровень звукового давления

$$\text{SPL (dB)} = 20 \times \log_{10} ( \text{meas(Pa)} / 20\mu\text{Pa} )$$

# Инженерия звука

---

Использование правильной формулы

	$10 \times \log_{10} ( b1 / b0 )$	$20 \times \log_{10} ( b1 / b0 )$
Акустическое давление		x
Электрическая мощность	x	
Электрическое напряжение		x
Электрический ток		x
Дистанция-SPL		x

# Инженерия звука

---

## Суммирование

$$\text{Sum}(L_a, L_b) = 20 \times \log_{10} ( 10^{L_a/20} + 10^{L_b/20} ) \text{ dB}$$

...пример 20 dB + 20 dB

$$20 \times \log_{10} ( 10^{20/20} + 10^{20/20} ) = 26.0206 \text{ dB}$$

# Инженерия звука

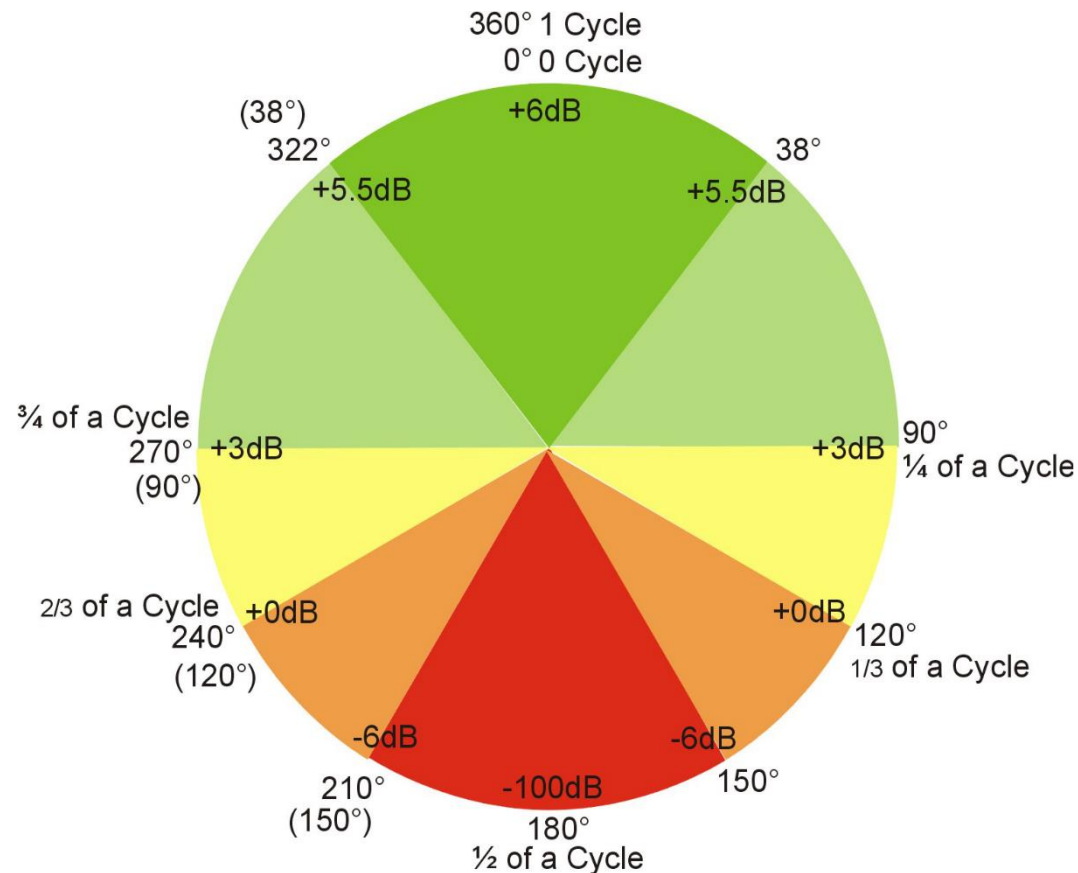
---

Простое соотношение двух сигналов с фазой разницей

- $180^\circ$  – Гашение
- $0^\circ$  - Суммирование

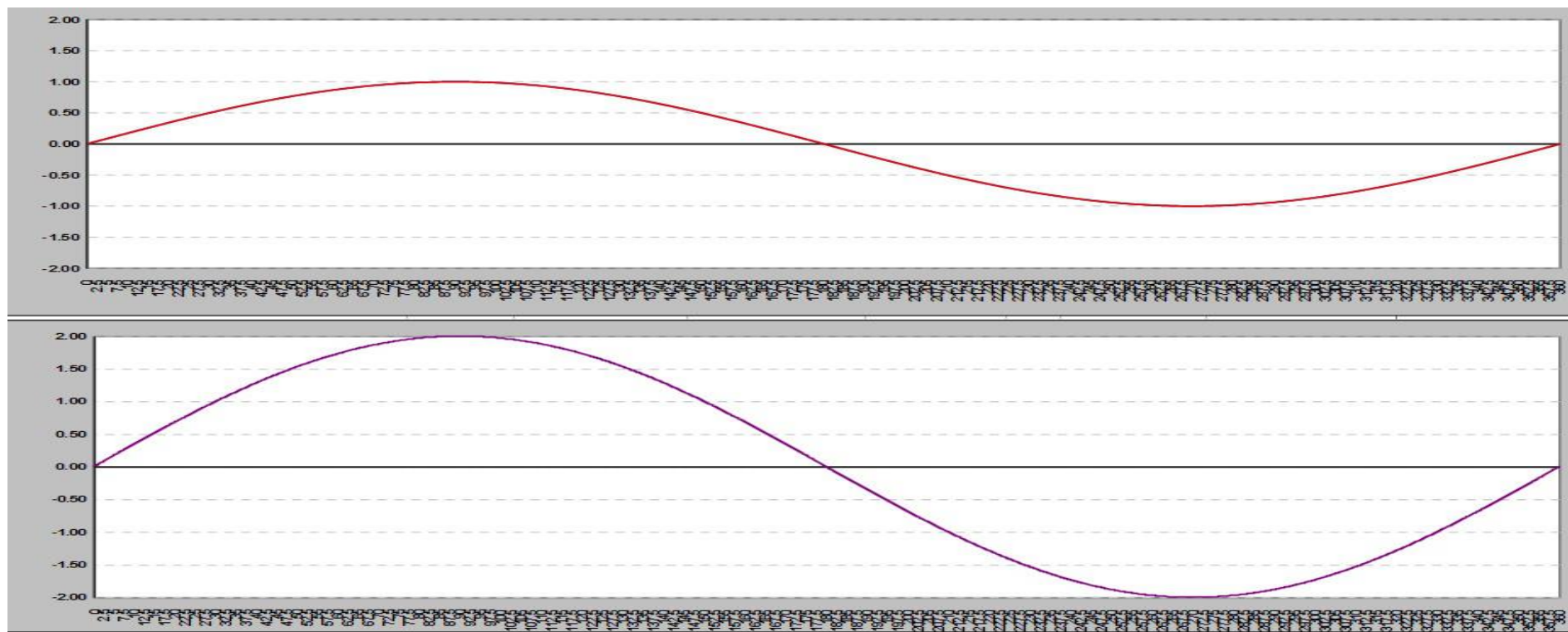
# Инженерия звука

Сложное соотношение сигналов с фазовой разницей



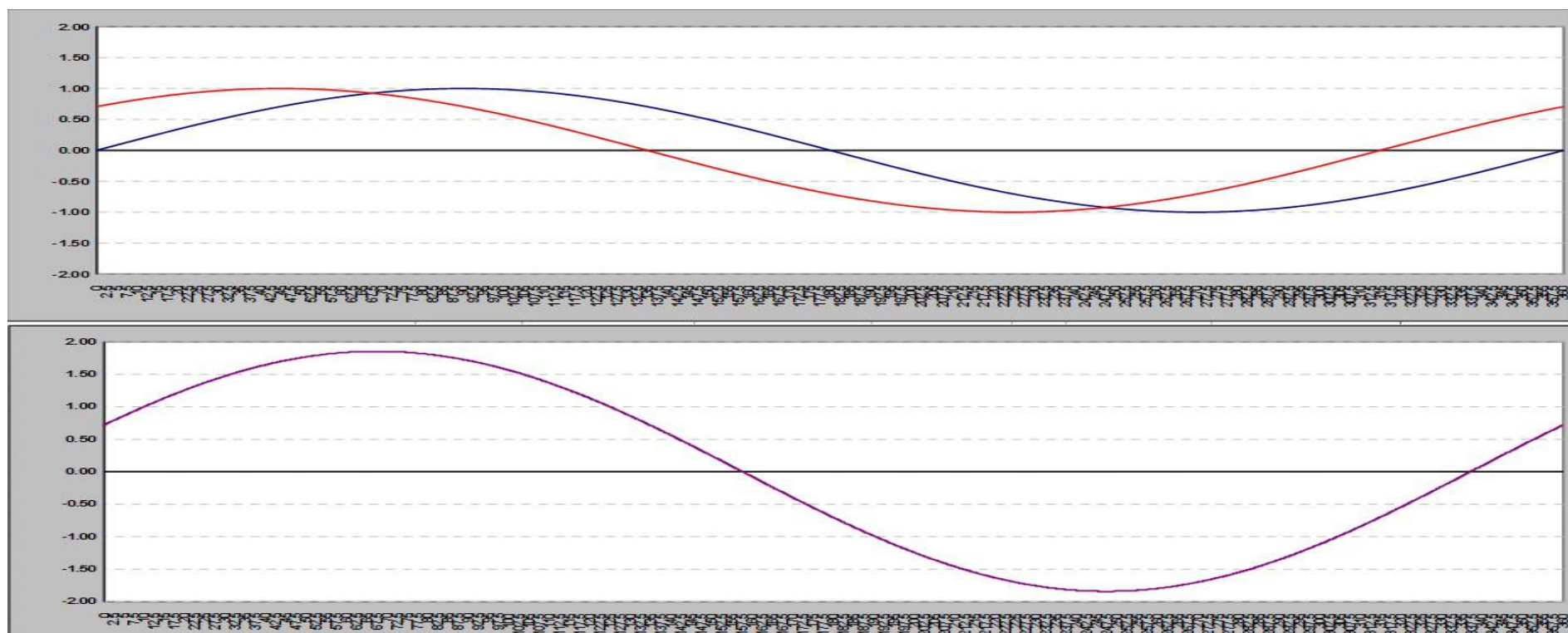
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $0^\circ$



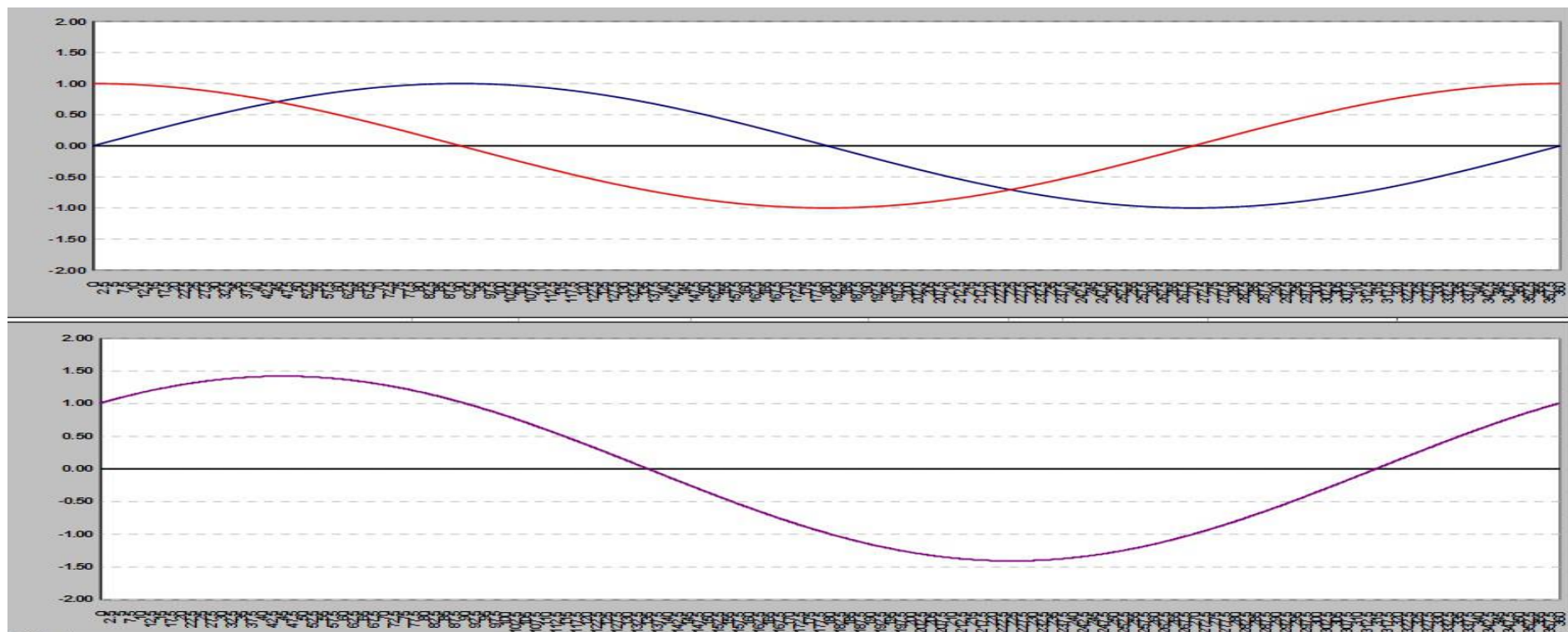
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $45^\circ$



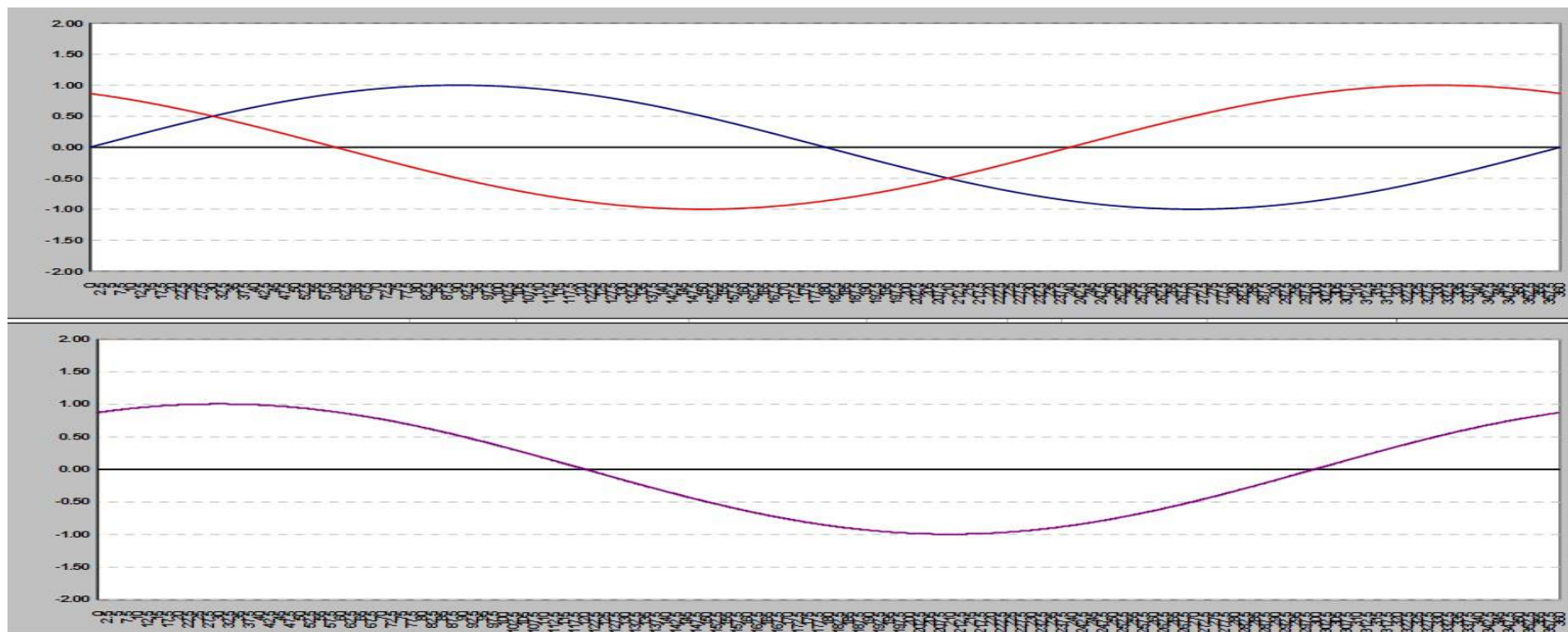
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $90^\circ$



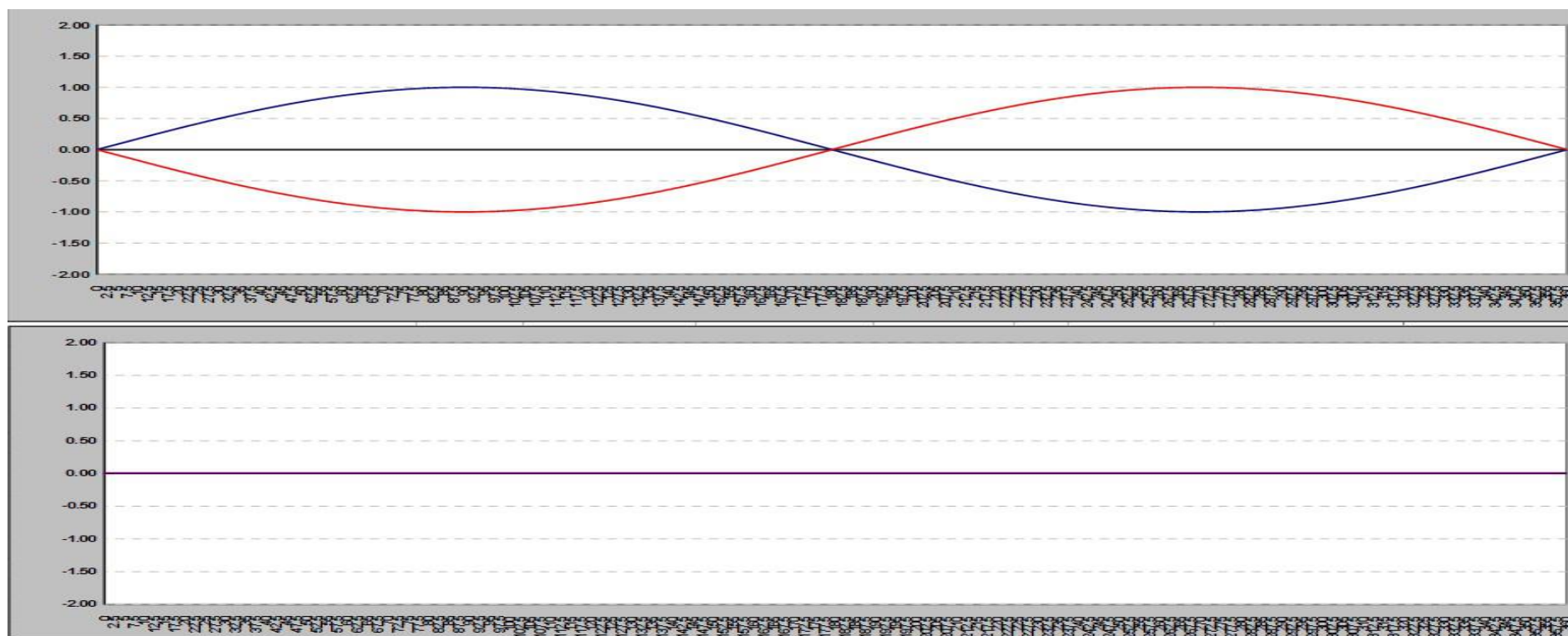
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $120^\circ$



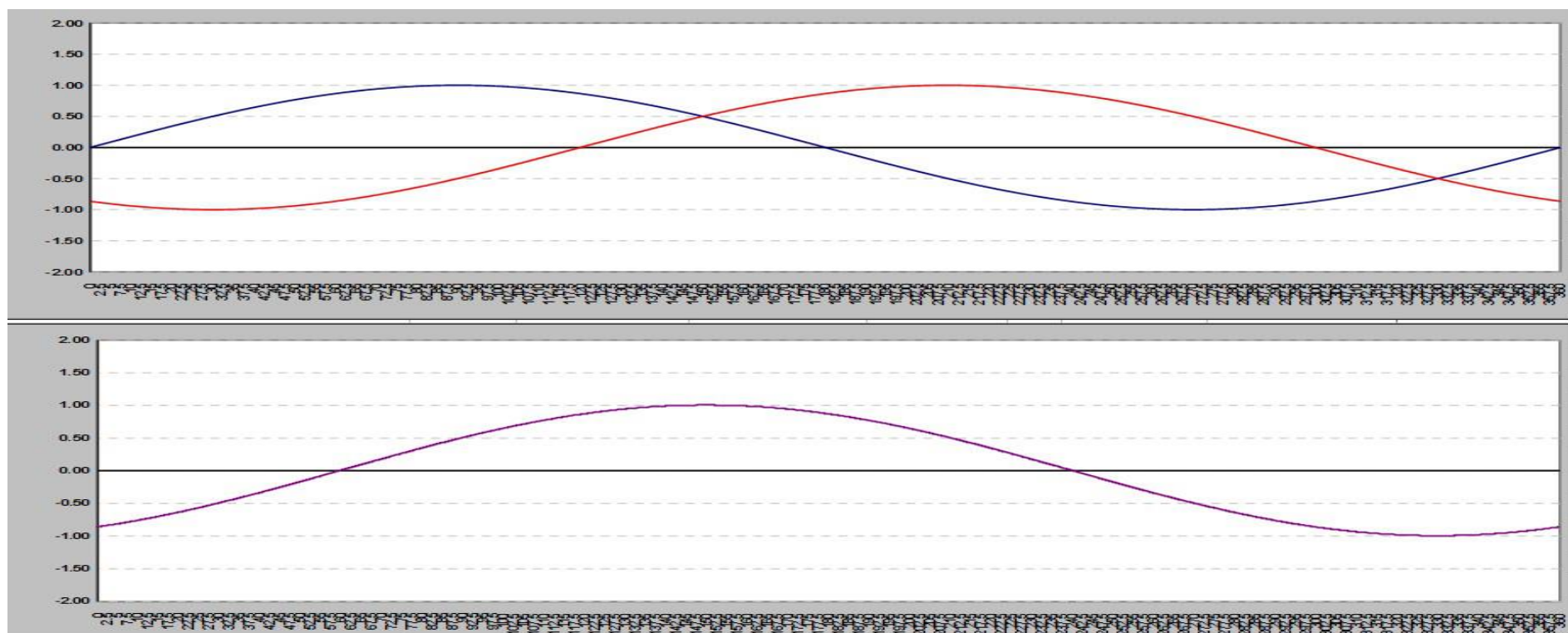
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $180^\circ$



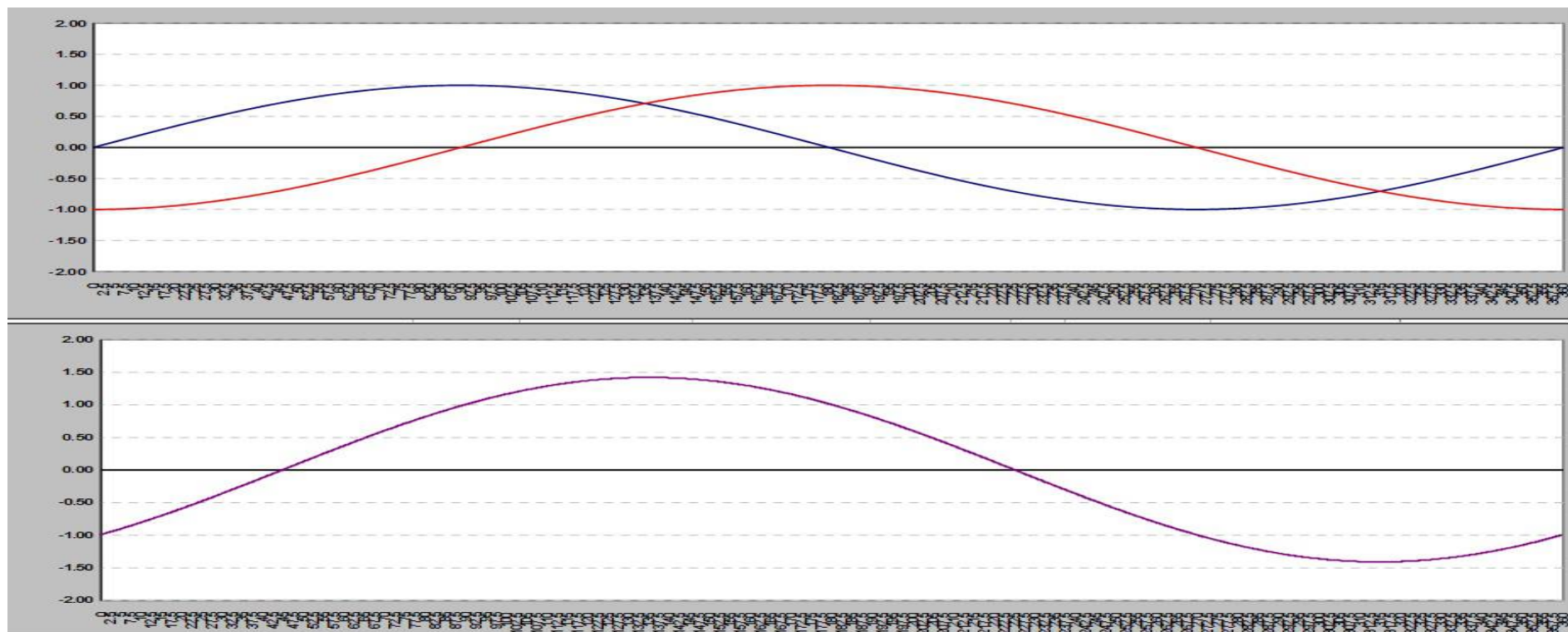
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $240^\circ$



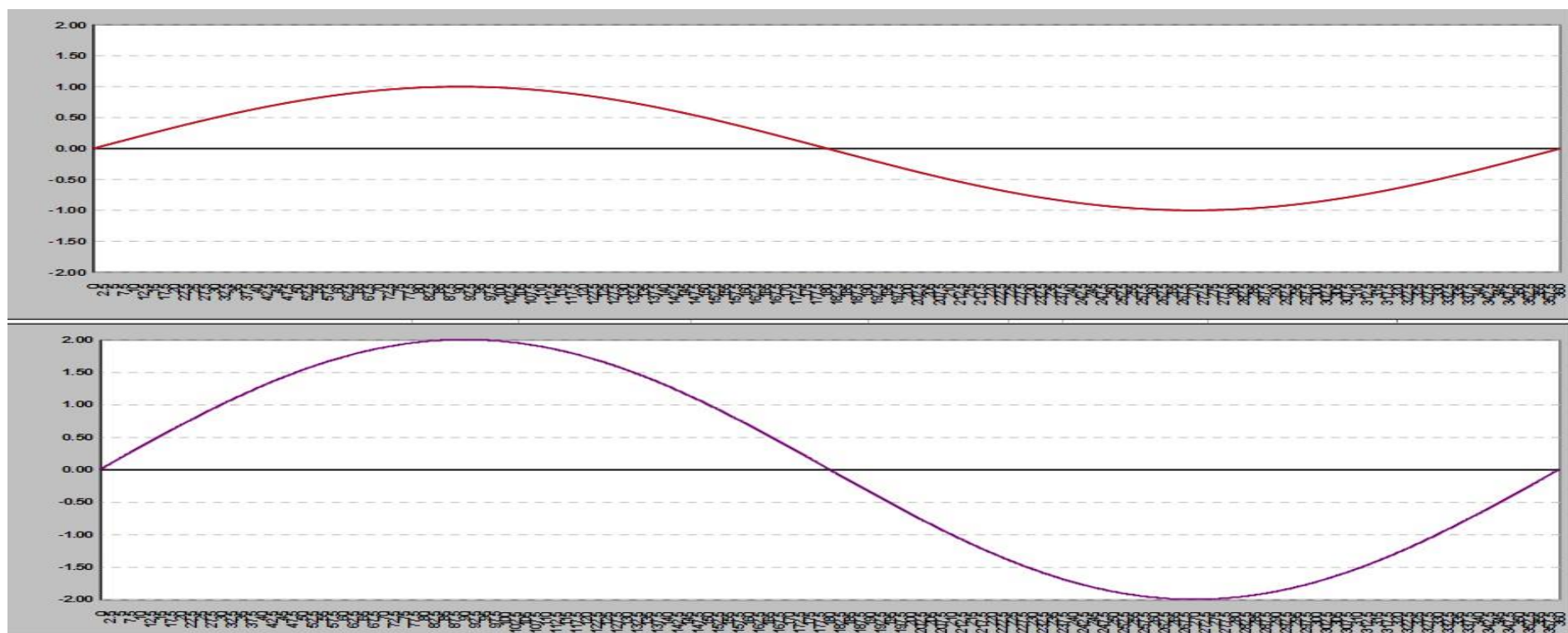
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $270^\circ$



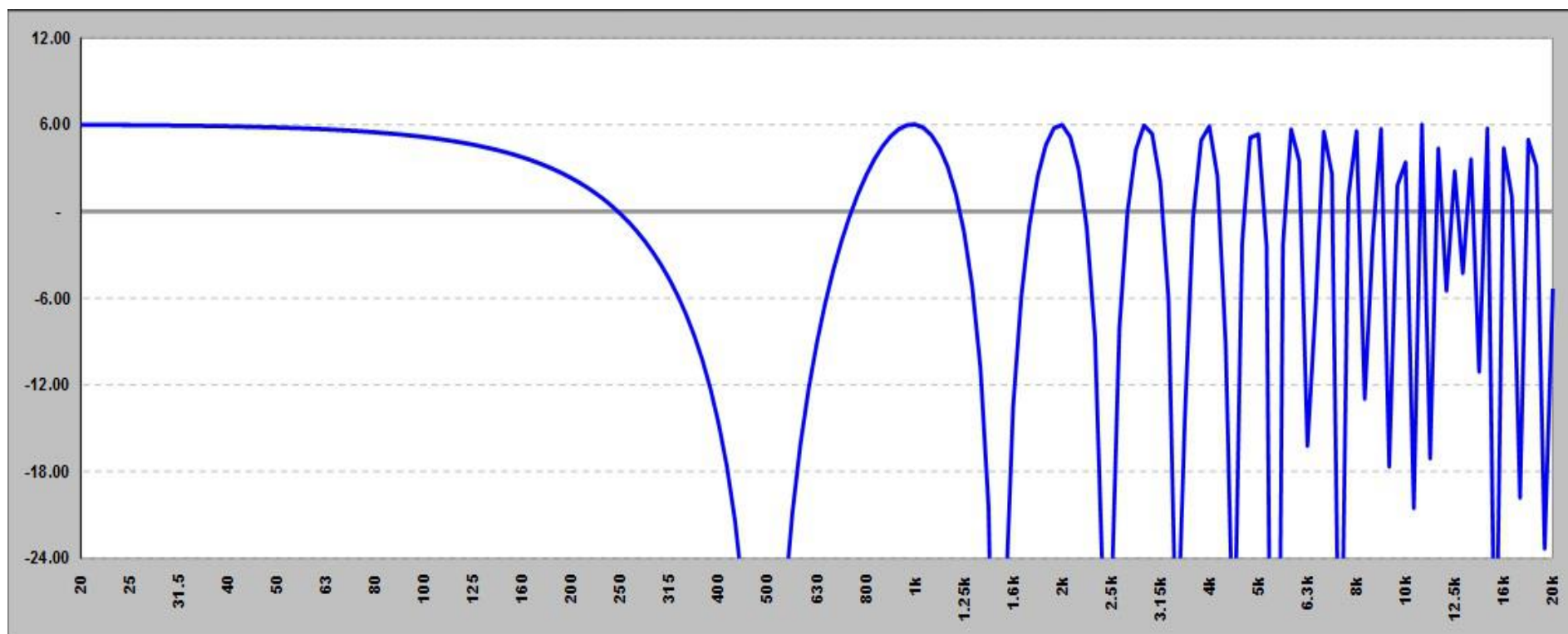
# Инженерия звука

Сумма 2-х сигналов при расхождении фазы в  $360^\circ$



# Инженерия звука

Интерференция 1ms



# Инженерия звука

---

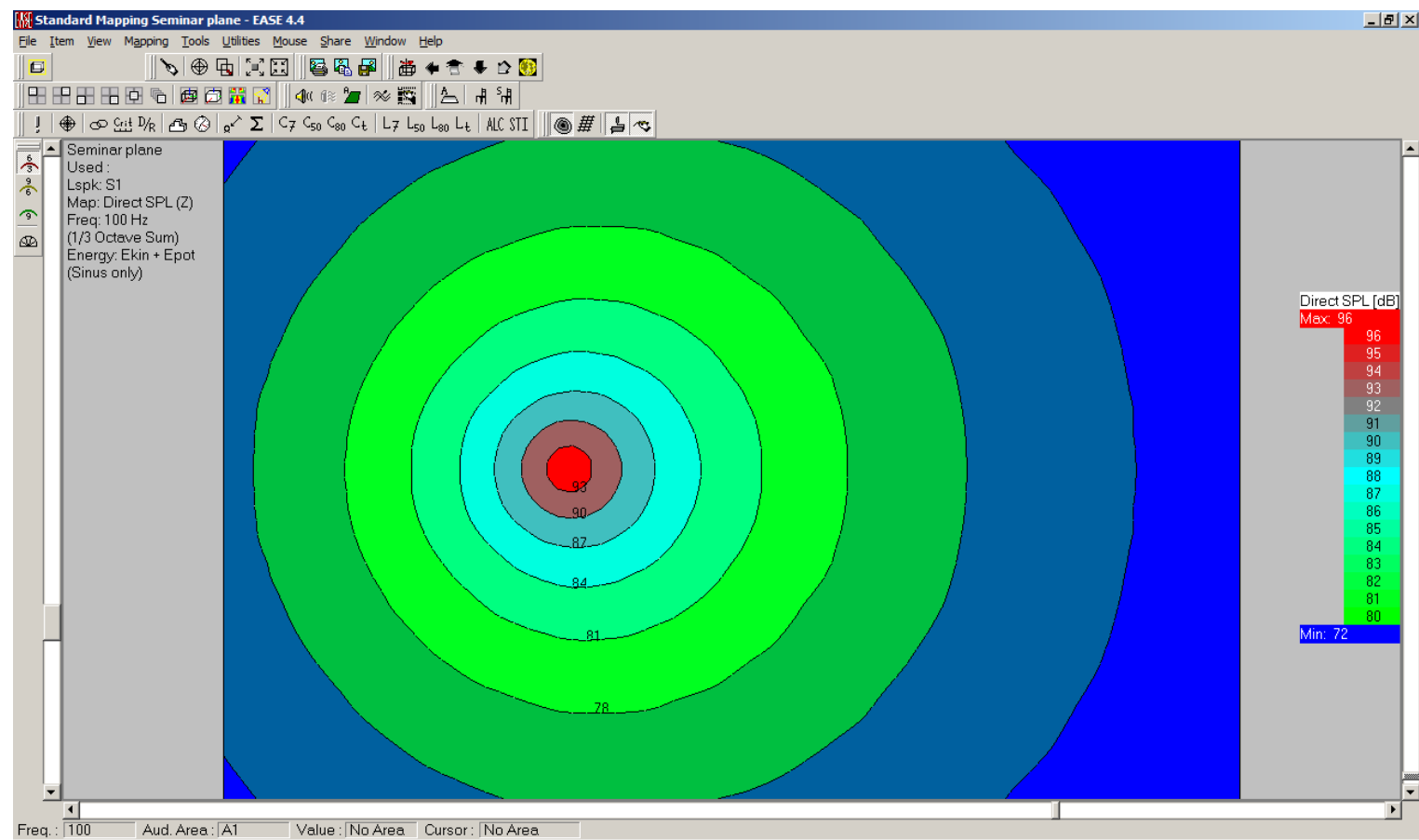
Влияние разницы амплитуд двух сигналов на сумму при  $0^\circ$  и гашение при  $180^\circ$

- |          |             |                |
|----------|-------------|----------------|
| ◦ 0dB –  | сумма +6dB, | гашение -100dB |
| ◦ 4dB –  | сумма +4dB, | гашение - 9dB  |
| ◦ 10dB – | сумма +3dB, | гашение -3dB   |
| ◦ 15dB – | сумма +1dB, | гашение -1dB   |
| ◦ 20dB – | +/-0.5dB    |                |

# Инженерия звука

1 Суб

100hz



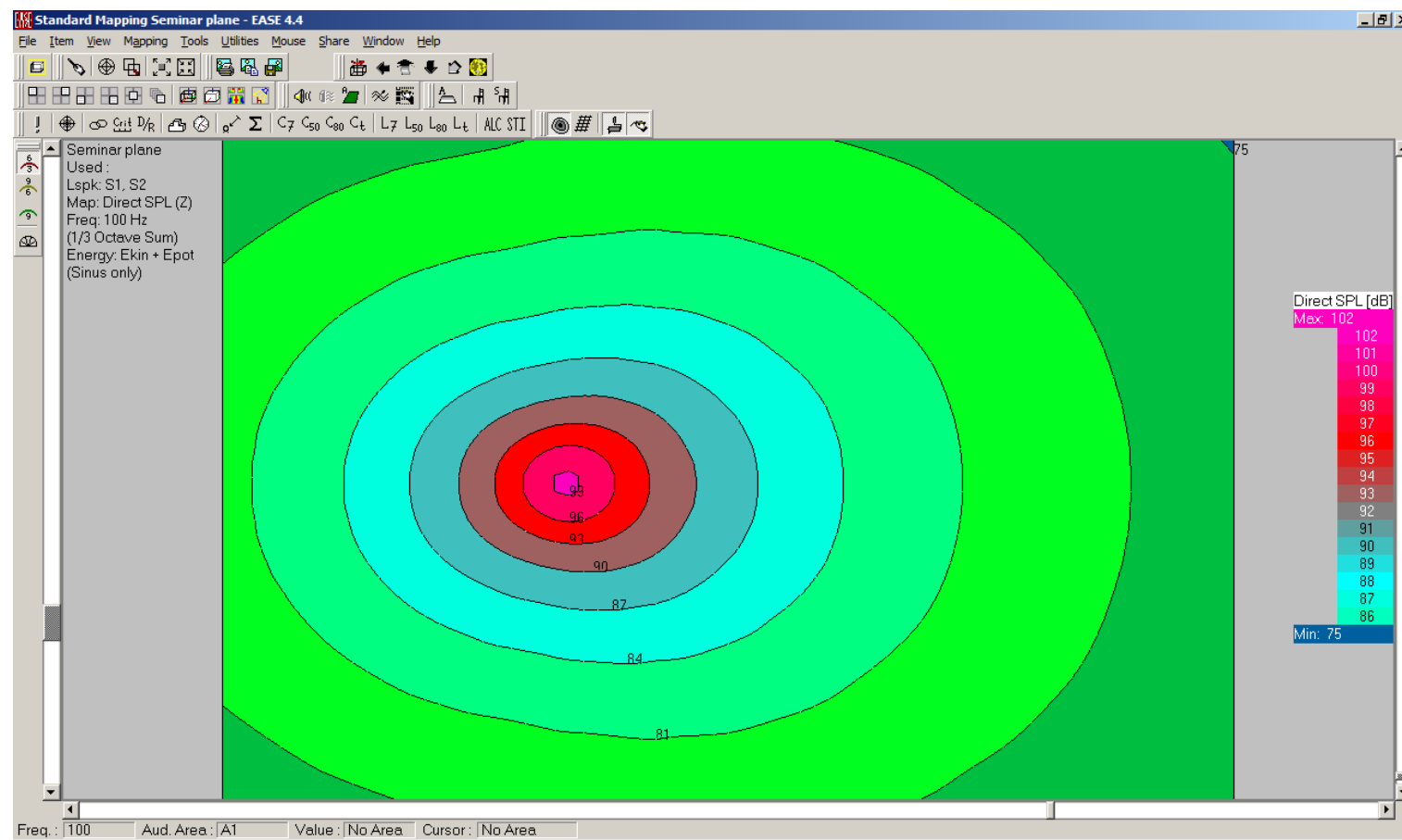
# Инженерия звука

2 суба

100Hz

90°

0.86м



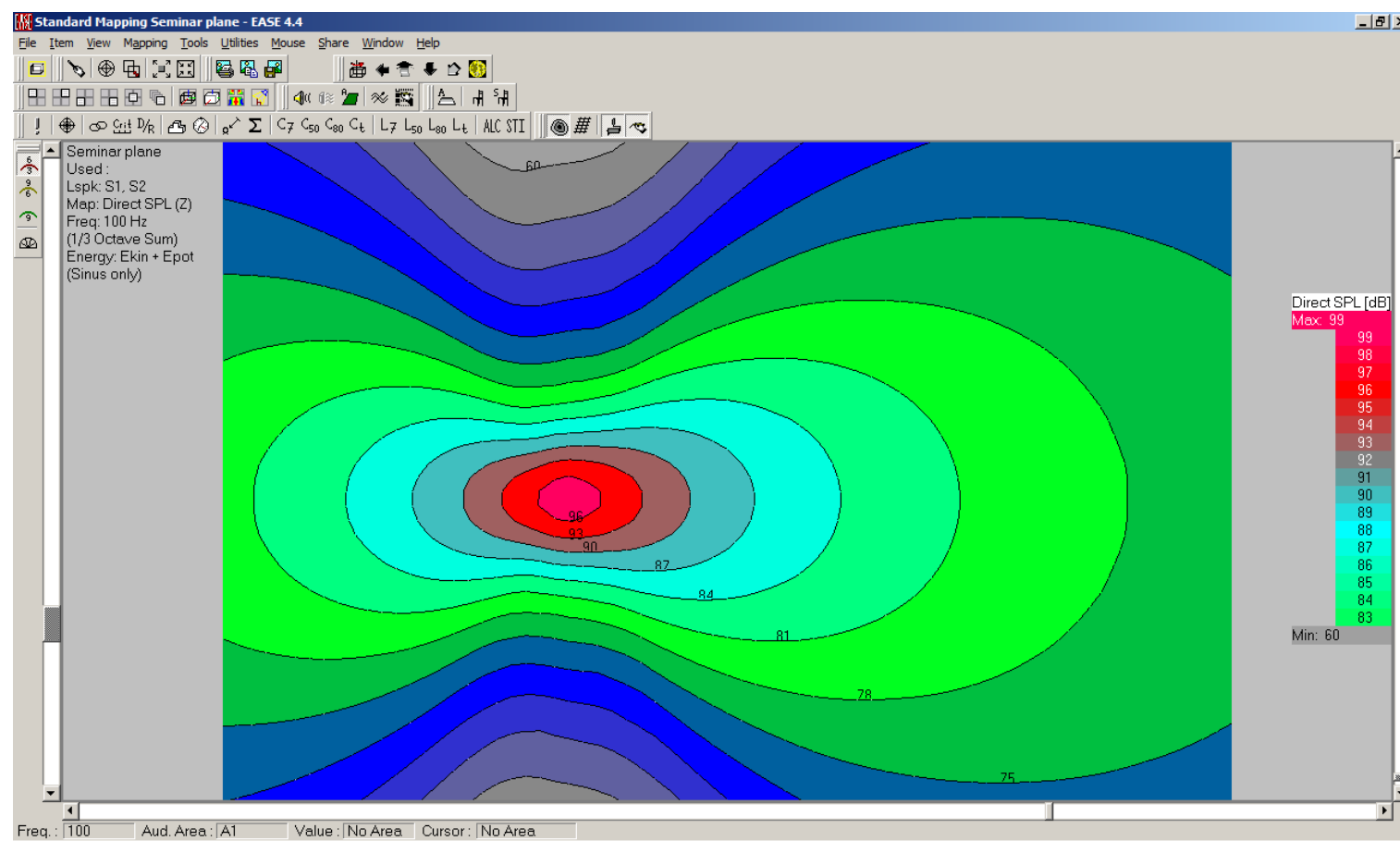
# Инженерия звука

2 суба

100Hz

180°

1.72м



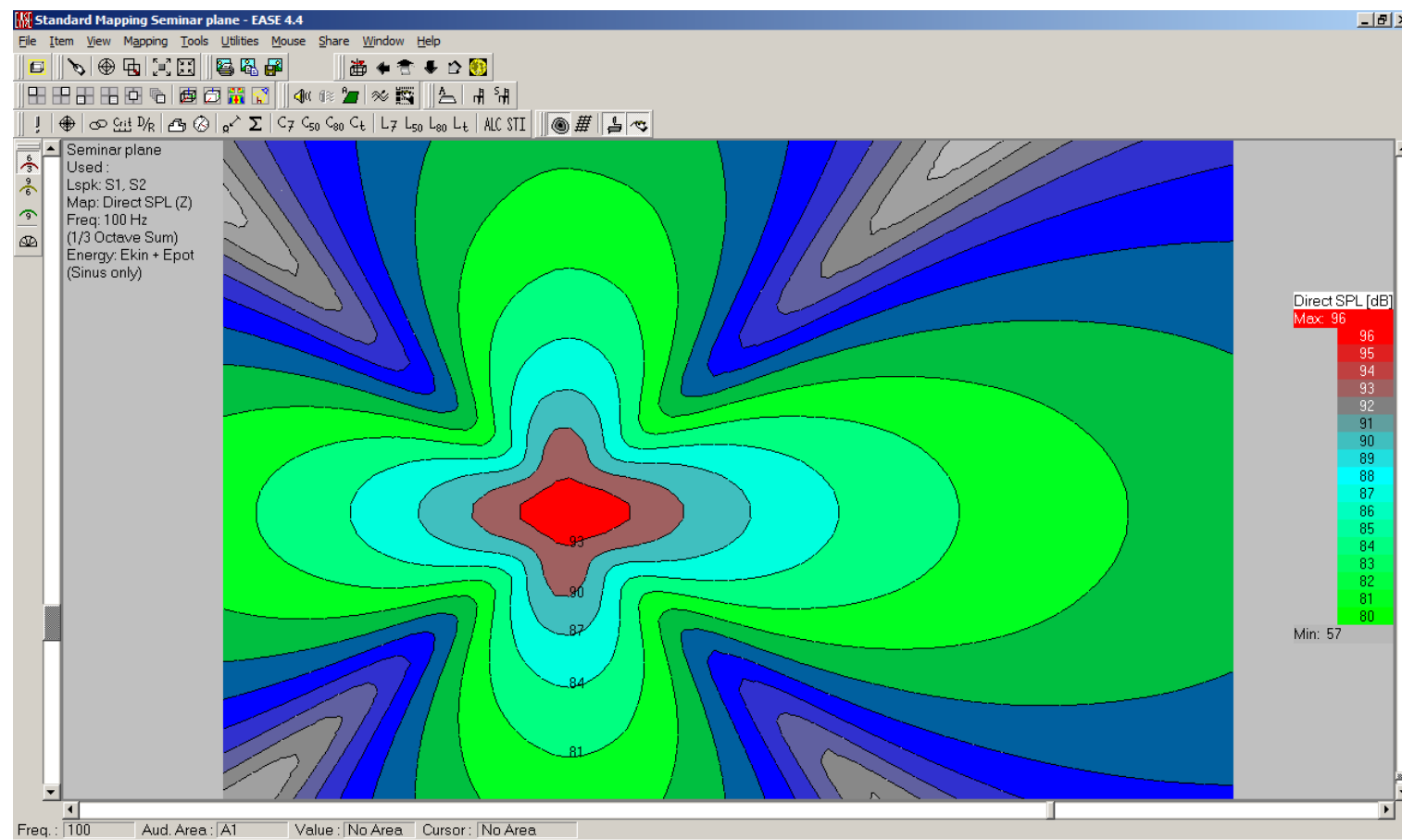
# Инженерия звука

2 суба

100Hz

270°

2.58м



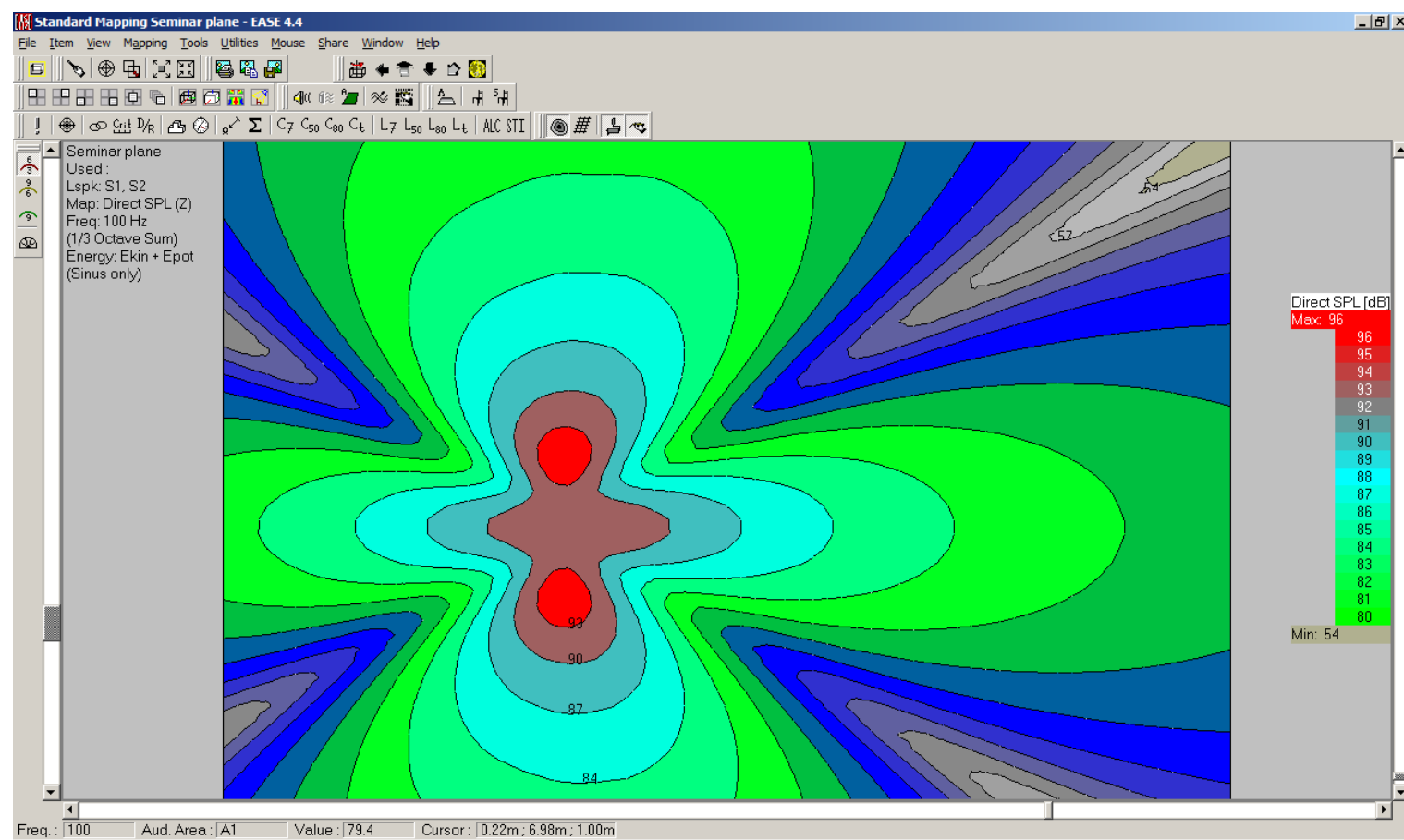
# Инженерия звука

2 суба

100Hz

360°

3.44м



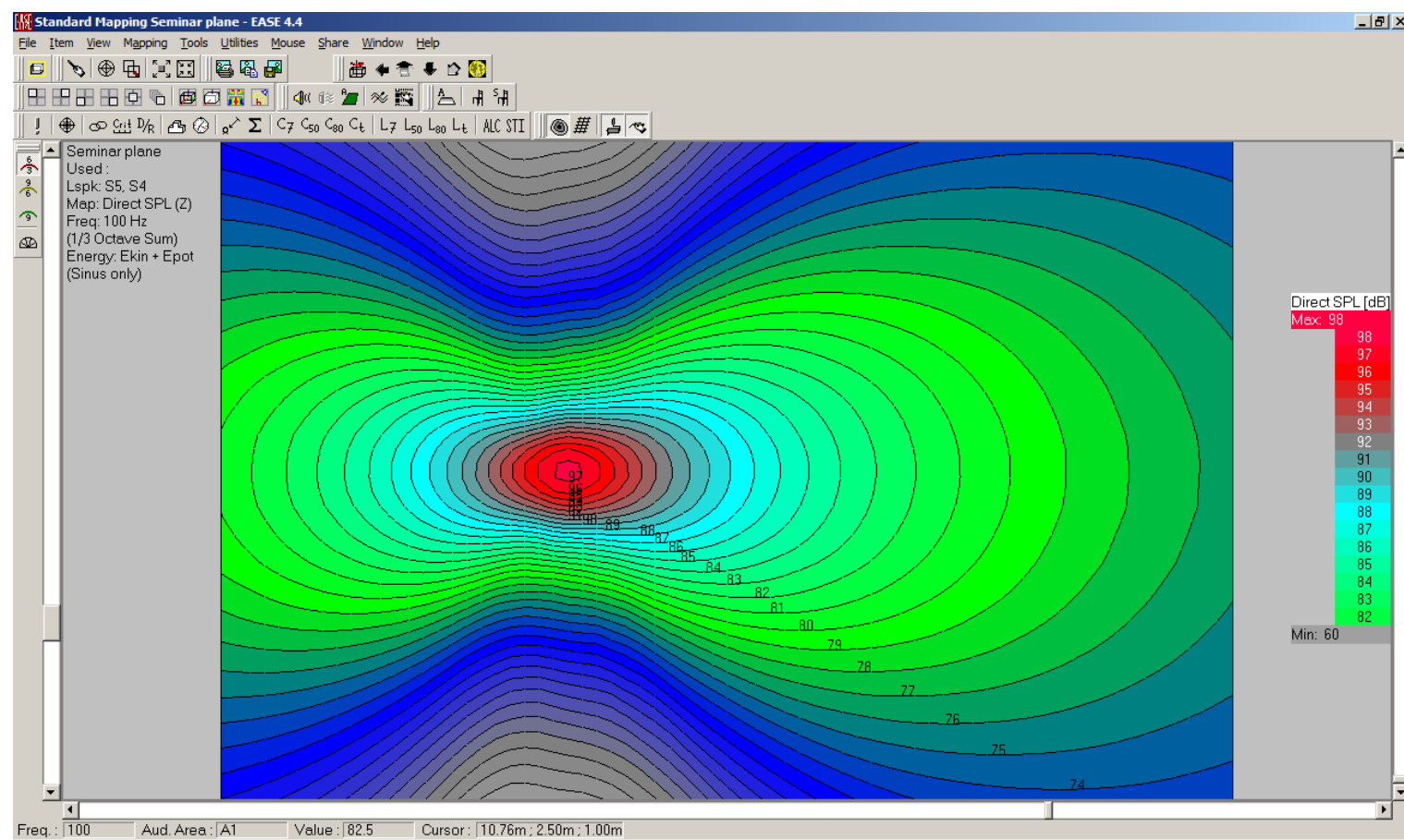
# Инженерия звука

2 суба

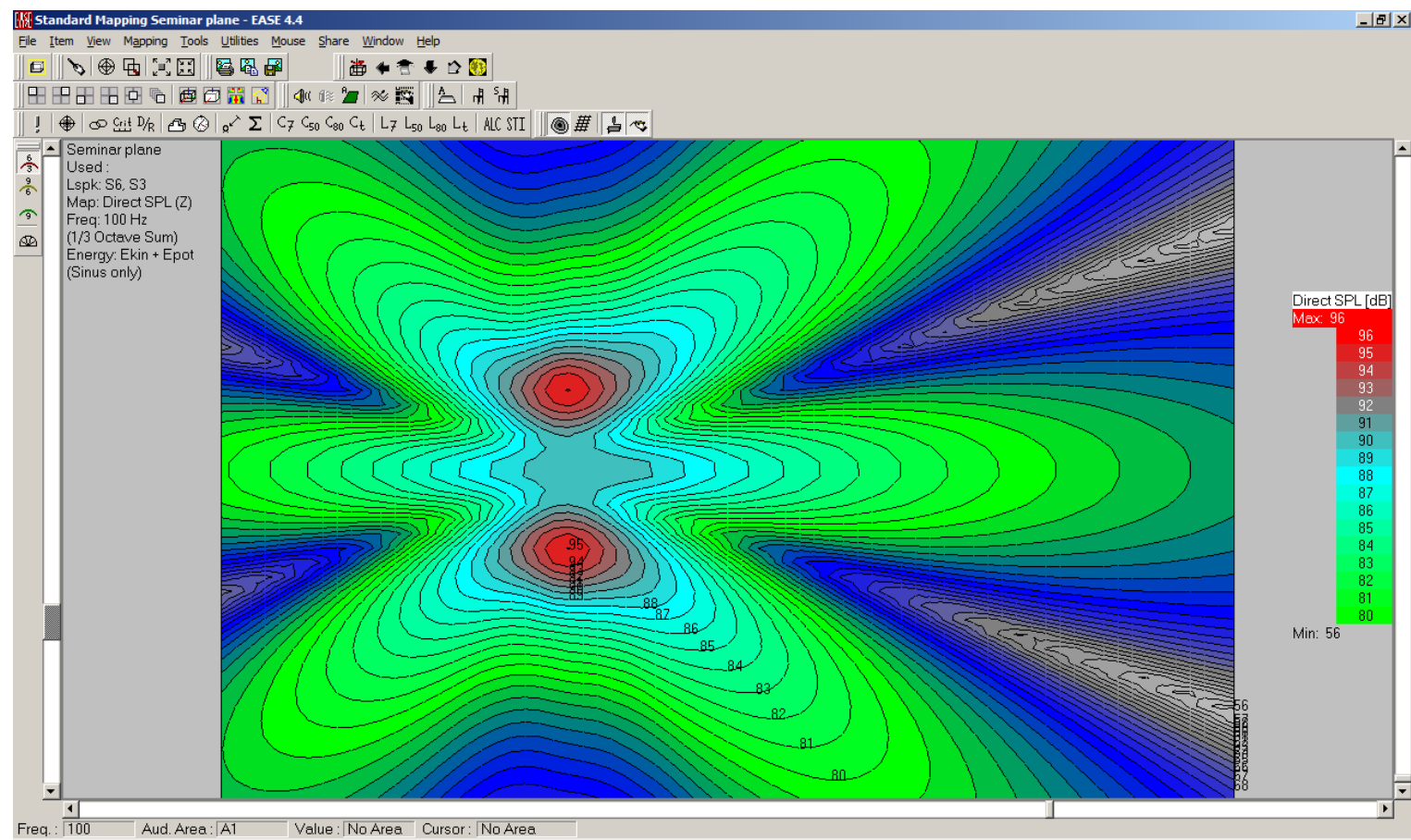
100Hz

180°

1.72м



5.16M



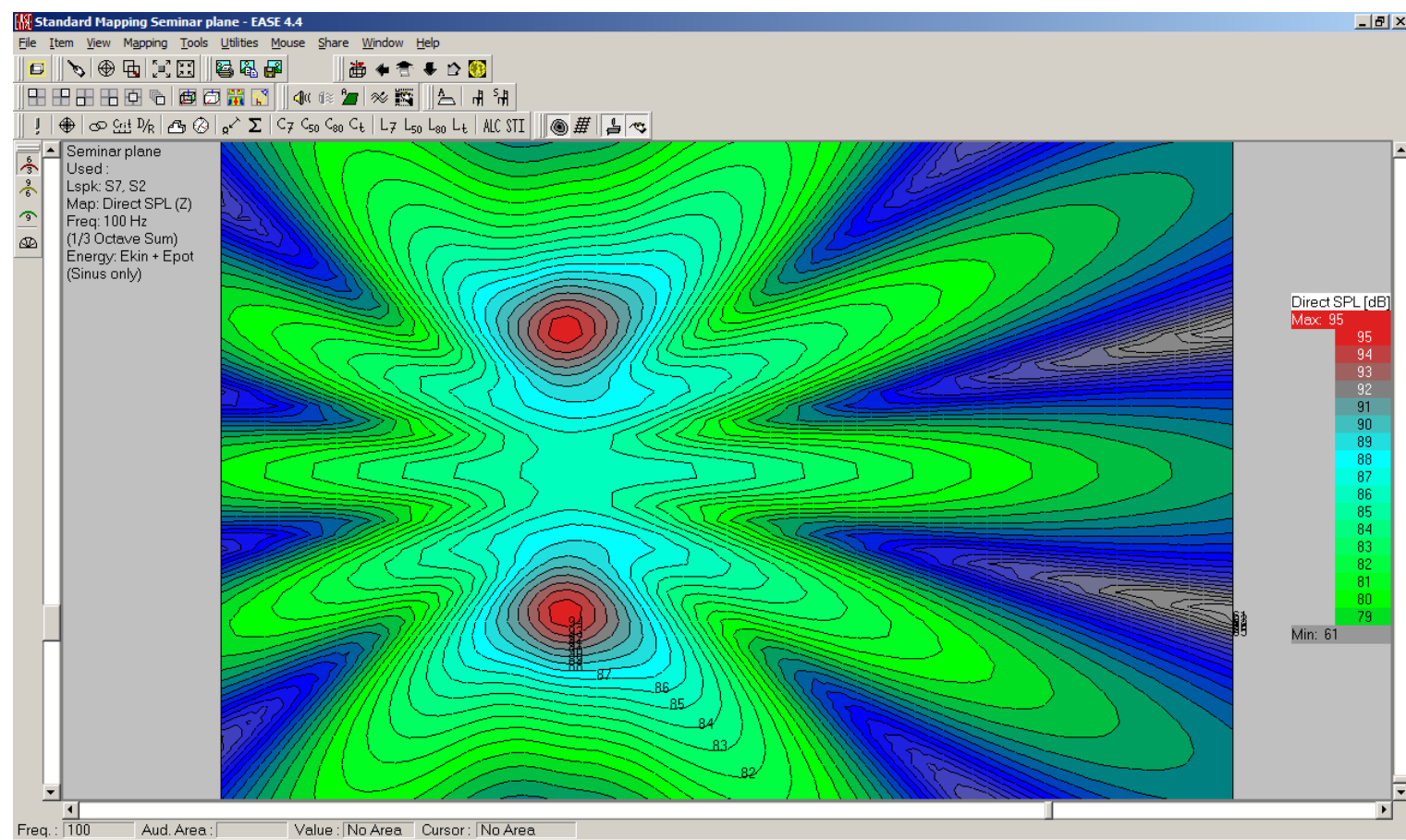
# Инженерия звука

2 суба

100Hz

900°

8.6м



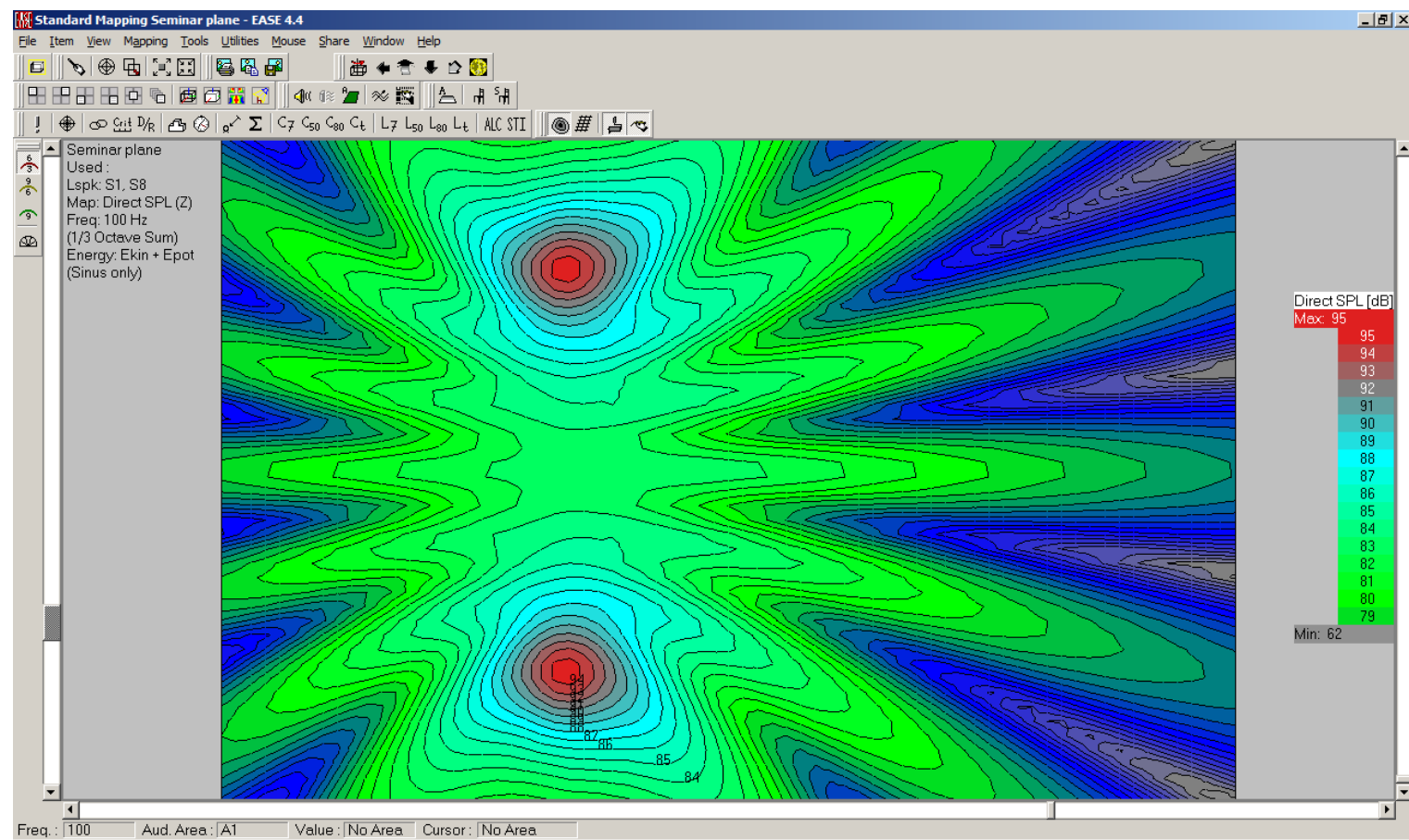
# Инженерия звука

2 суба

100Hz

1260°

12.04м



# Инженерия звука

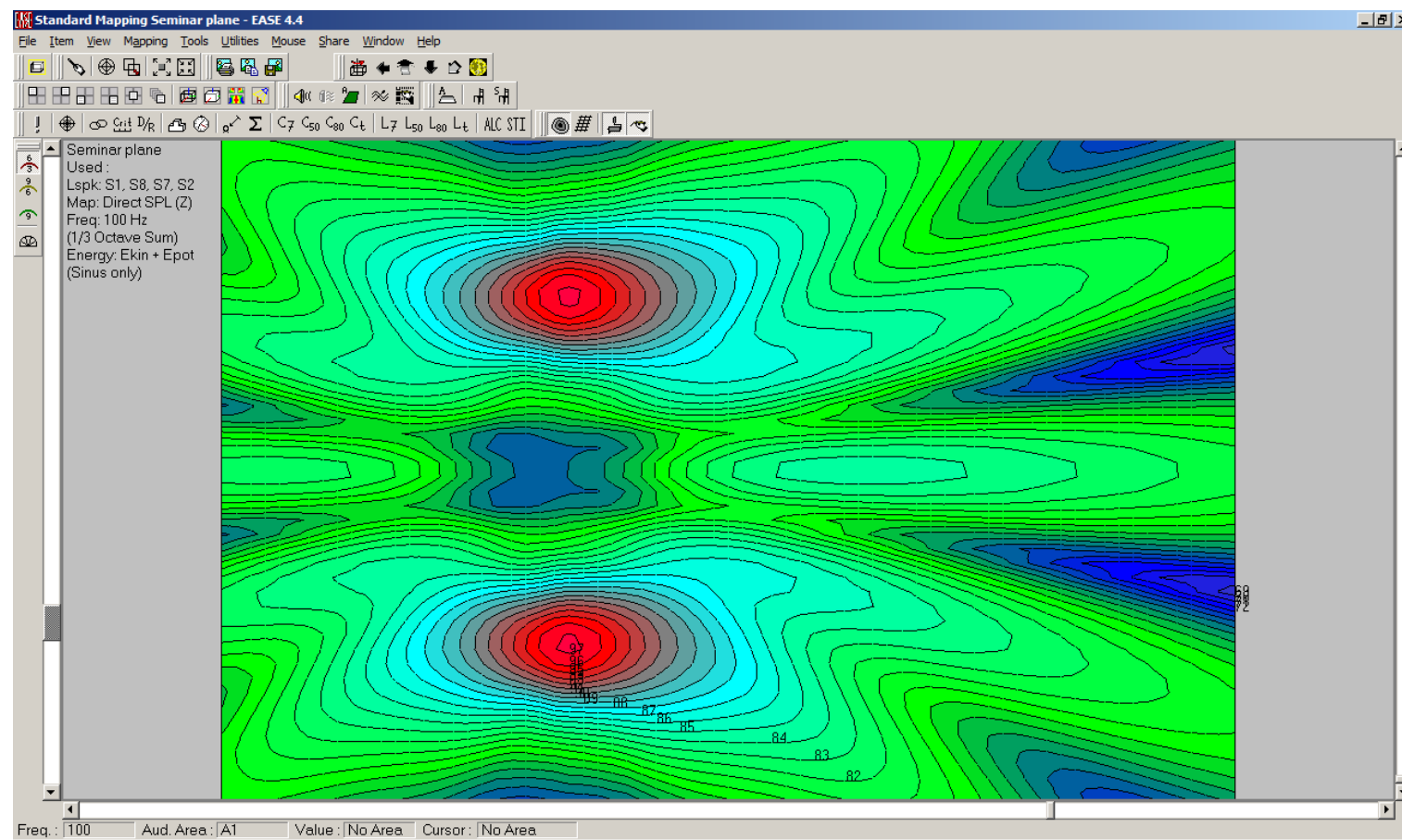
2 стэка

по 2 суба

100Hz

180°

1.72м



# Инженерия звука

2 стэка

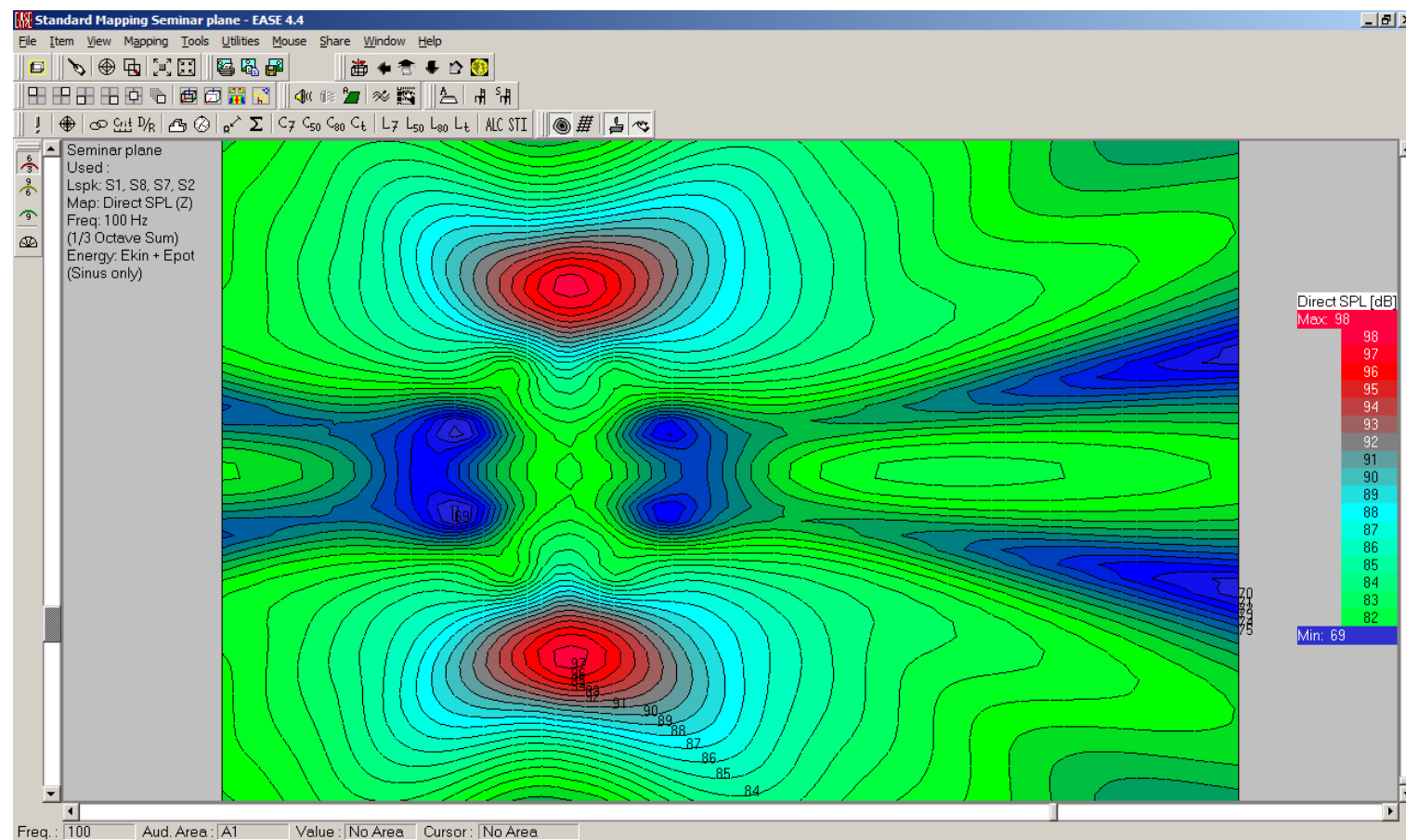
по 2 суба

100Hz

180°

1.72м

1ms



# Инженерия звука

2 стэка

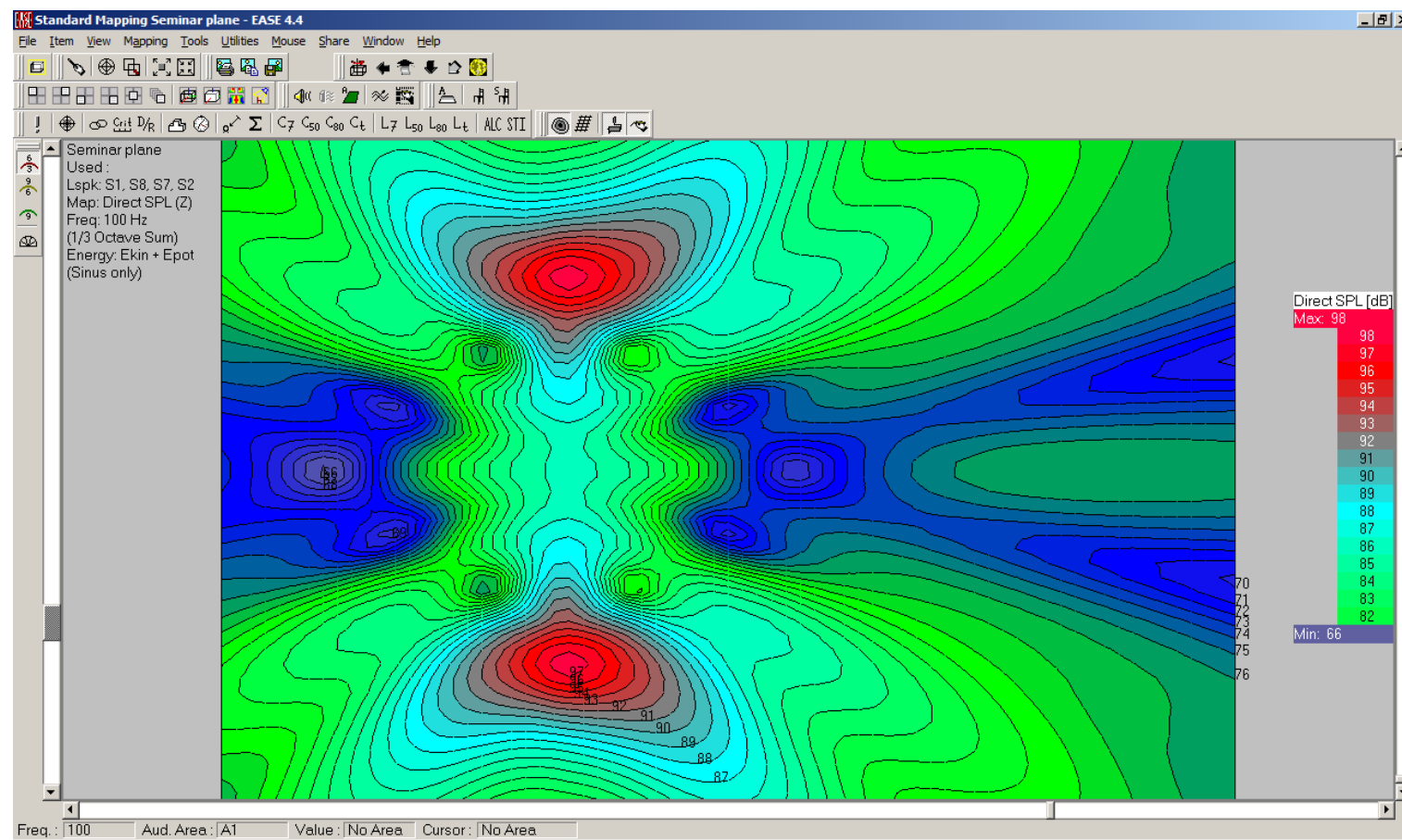
по 2 суба

100Hz

180°

1.72м

2ms



# Инженерия звука

---

## 3 вещи влияющие на фазу

- Групповая задержка

Влияет на определенный диапазон частот

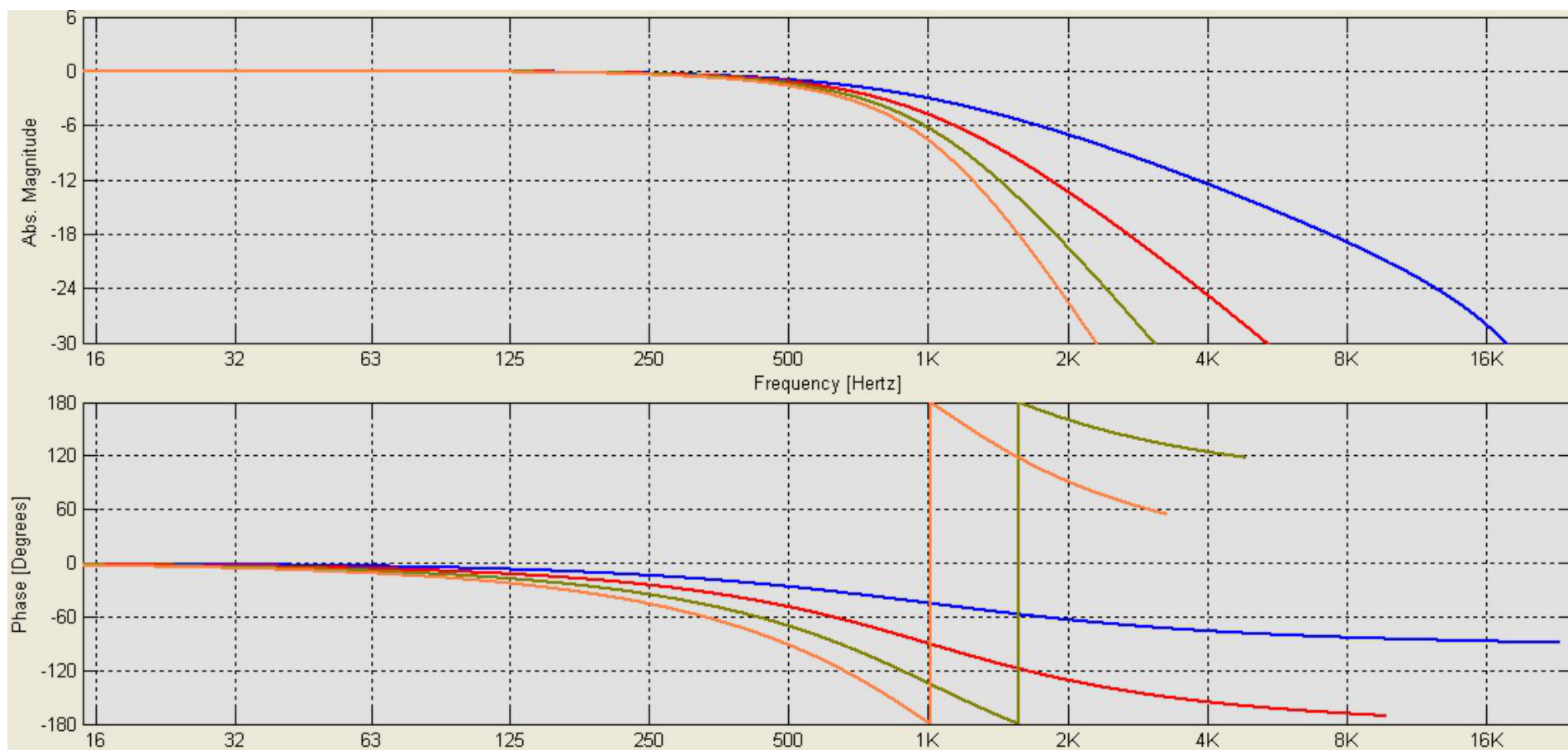
- Абсолютная задержка

Влияет на весь диапазон, на каждую частоту по разному

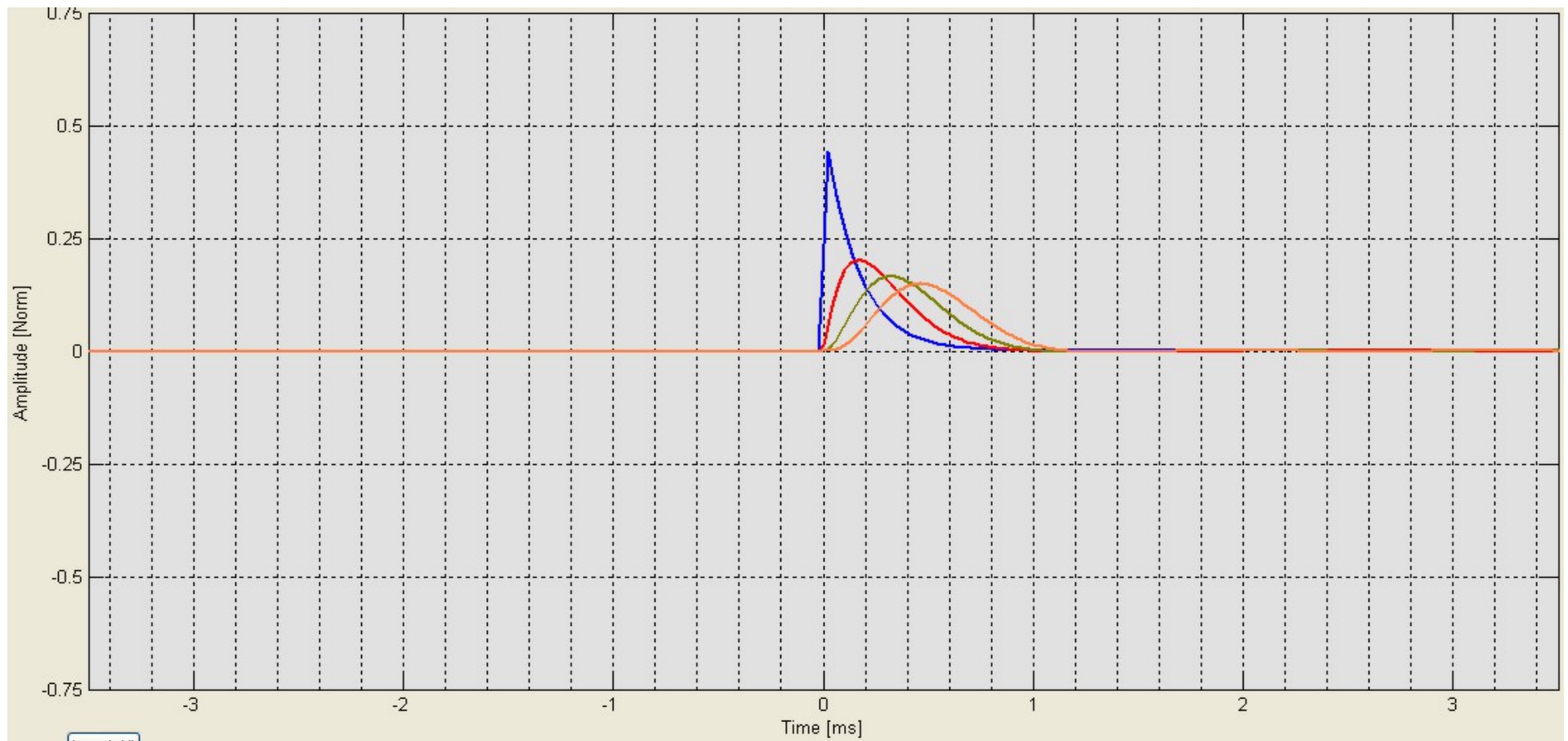
- Полярность

Влияет на весь диапазон, сдвигая фазу на  $180^\circ$  на всех частотах

# Bessel 1, 2, 3, 4 порядок

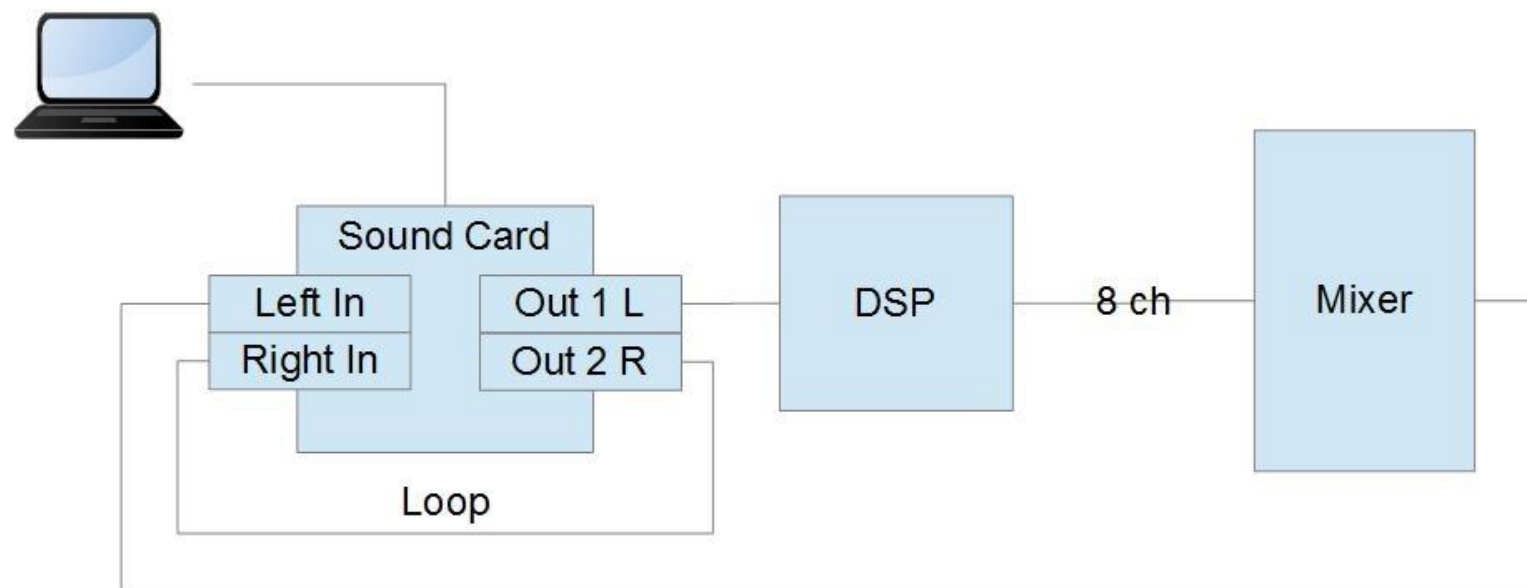


# Bessel 1, 2, 3, 4 порядок



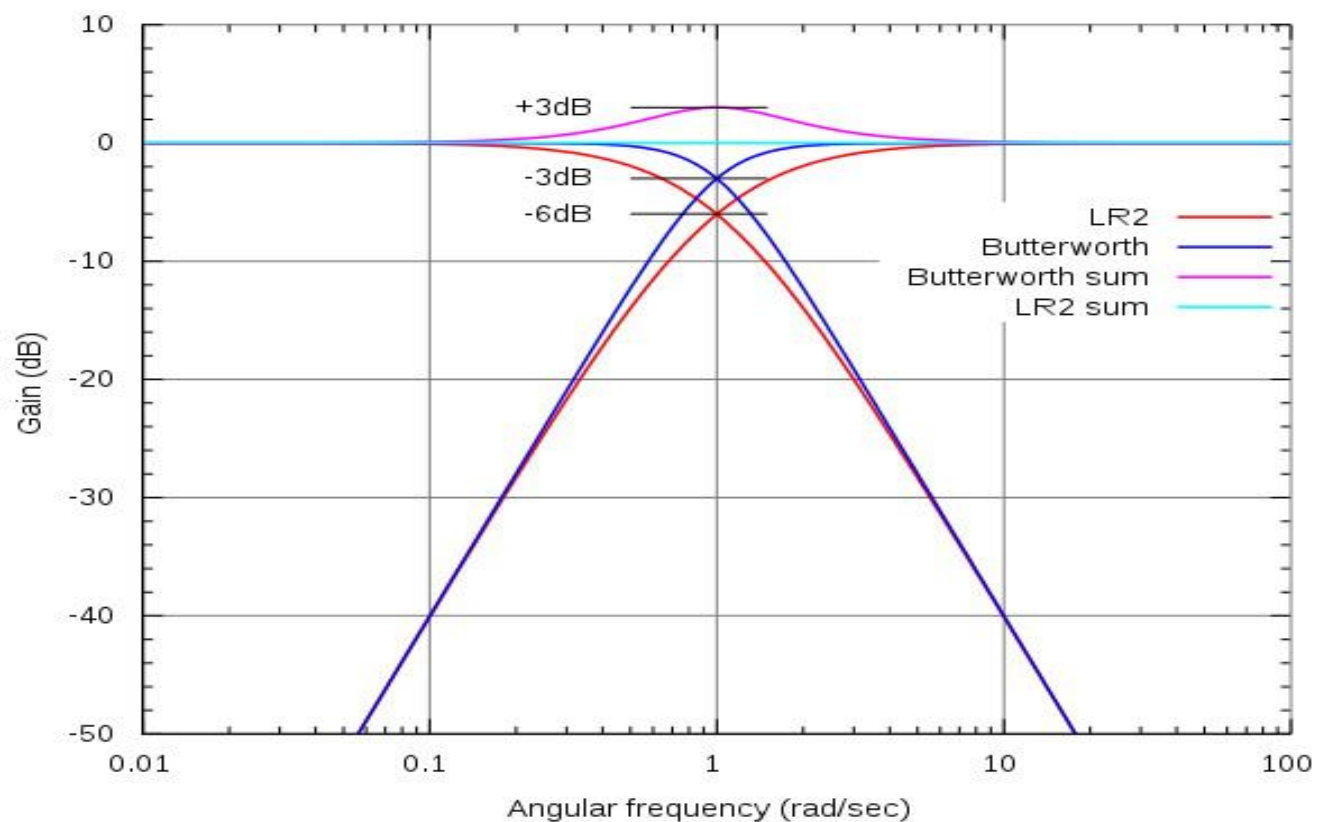
# Инженерия звука

---



# Инженерия звука

## Соотношение разных типов фильтров



# Инженерия звука

---

## Типы кроссоверов

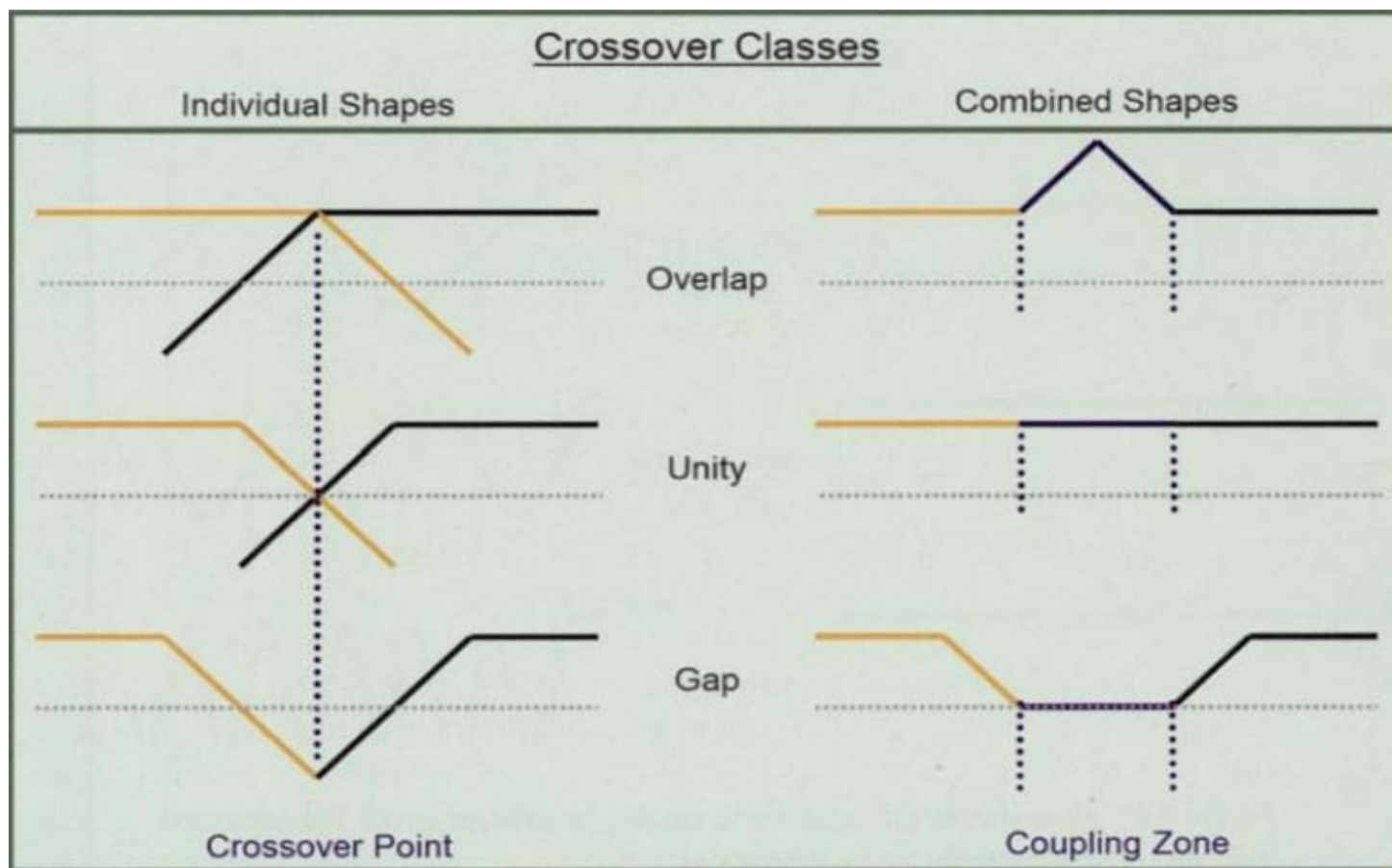
- Электронный кроссовер
- Электро-акустический кроссовер
- Пространственно-акустический кроссовер

# Инженерия звука

Классы

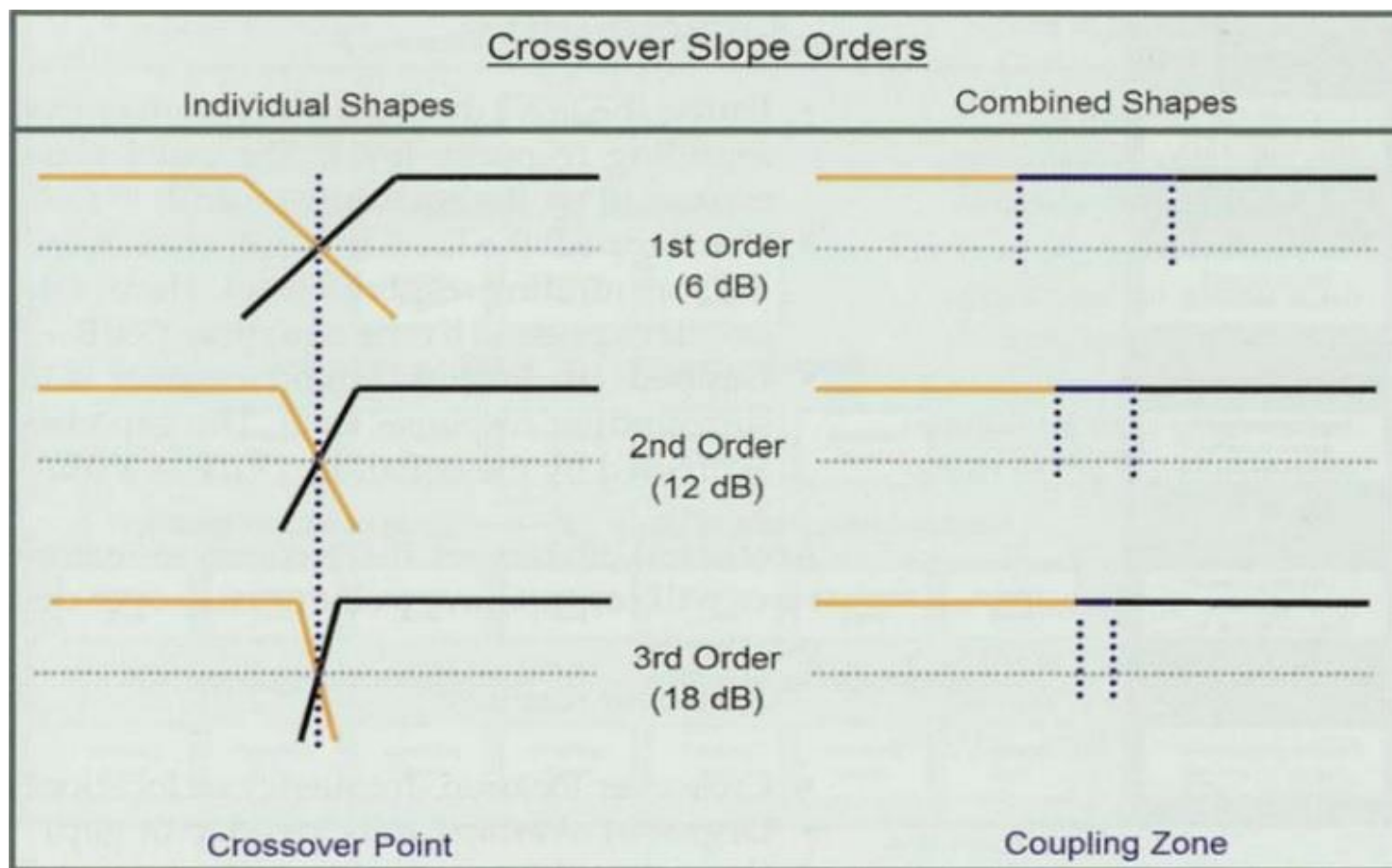
Кроссоверов

Избыточное,  
Нормальное,  
Недостаточное  
суммирование.



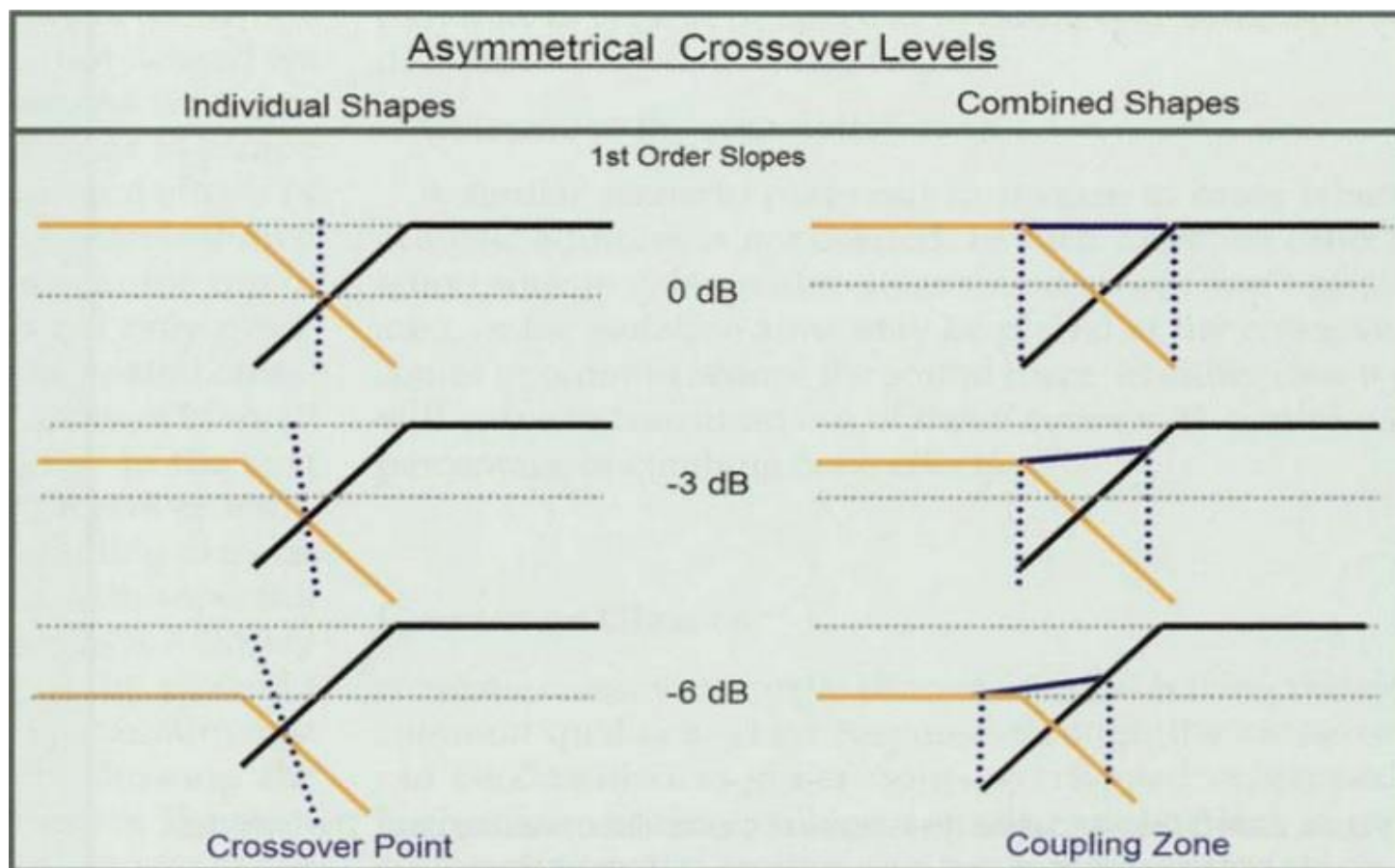
# Инженерия звука

Порядок  
кроссоверов



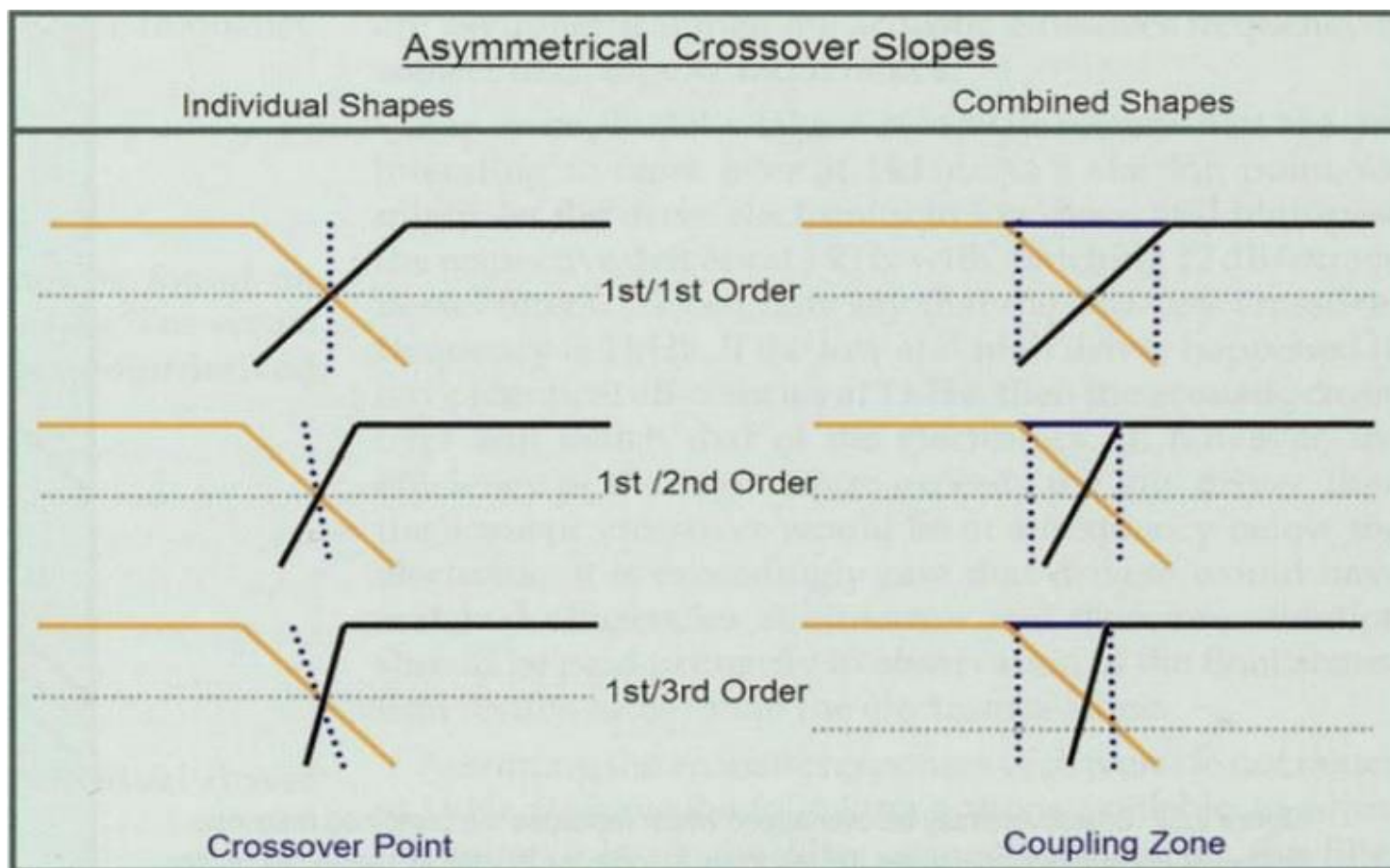
# Инженерия звука

Асимметричные  
по уровню  
кроссоверы



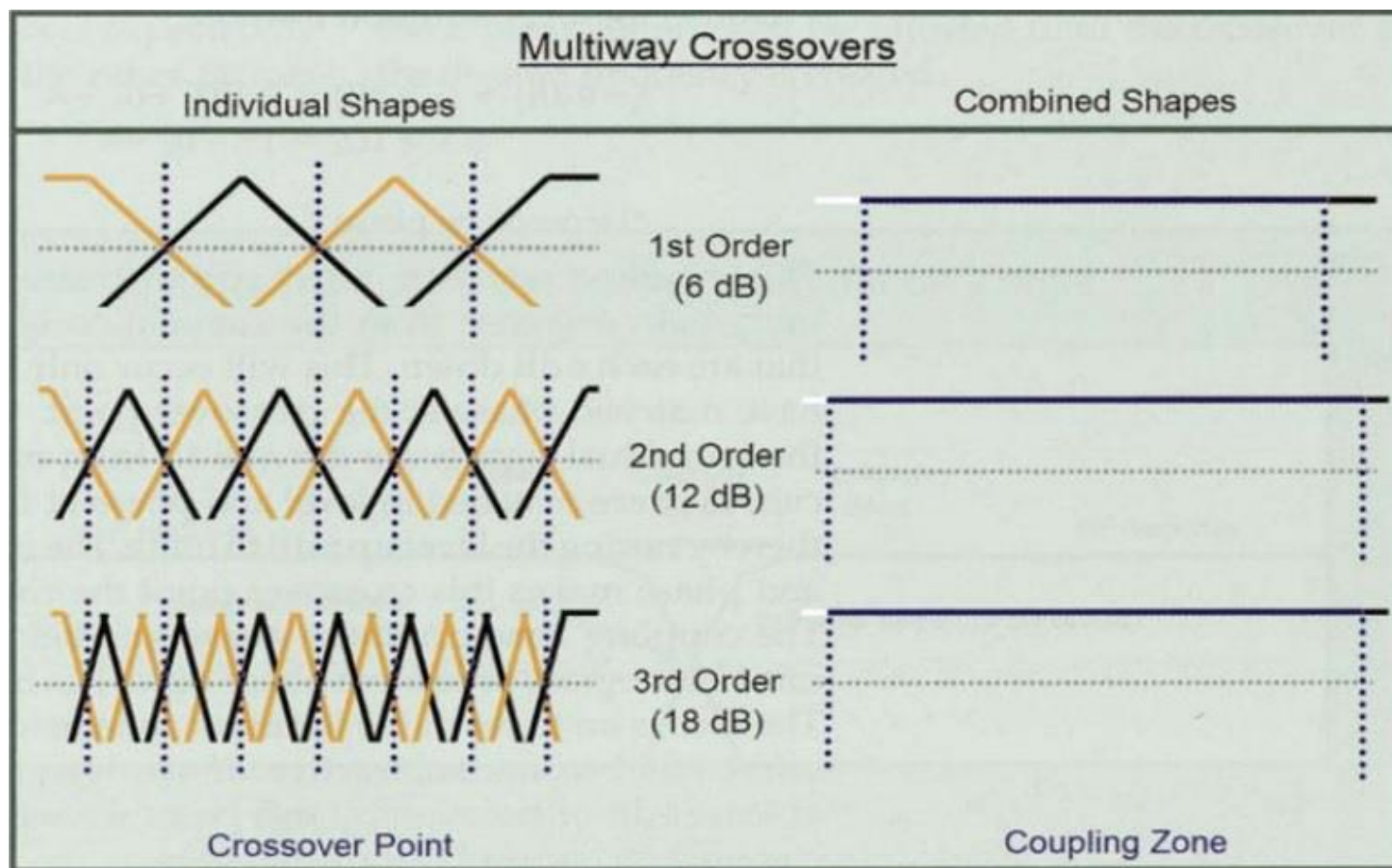
# Инженерия звука

Асимметричные  
по порядку  
кроссоверы



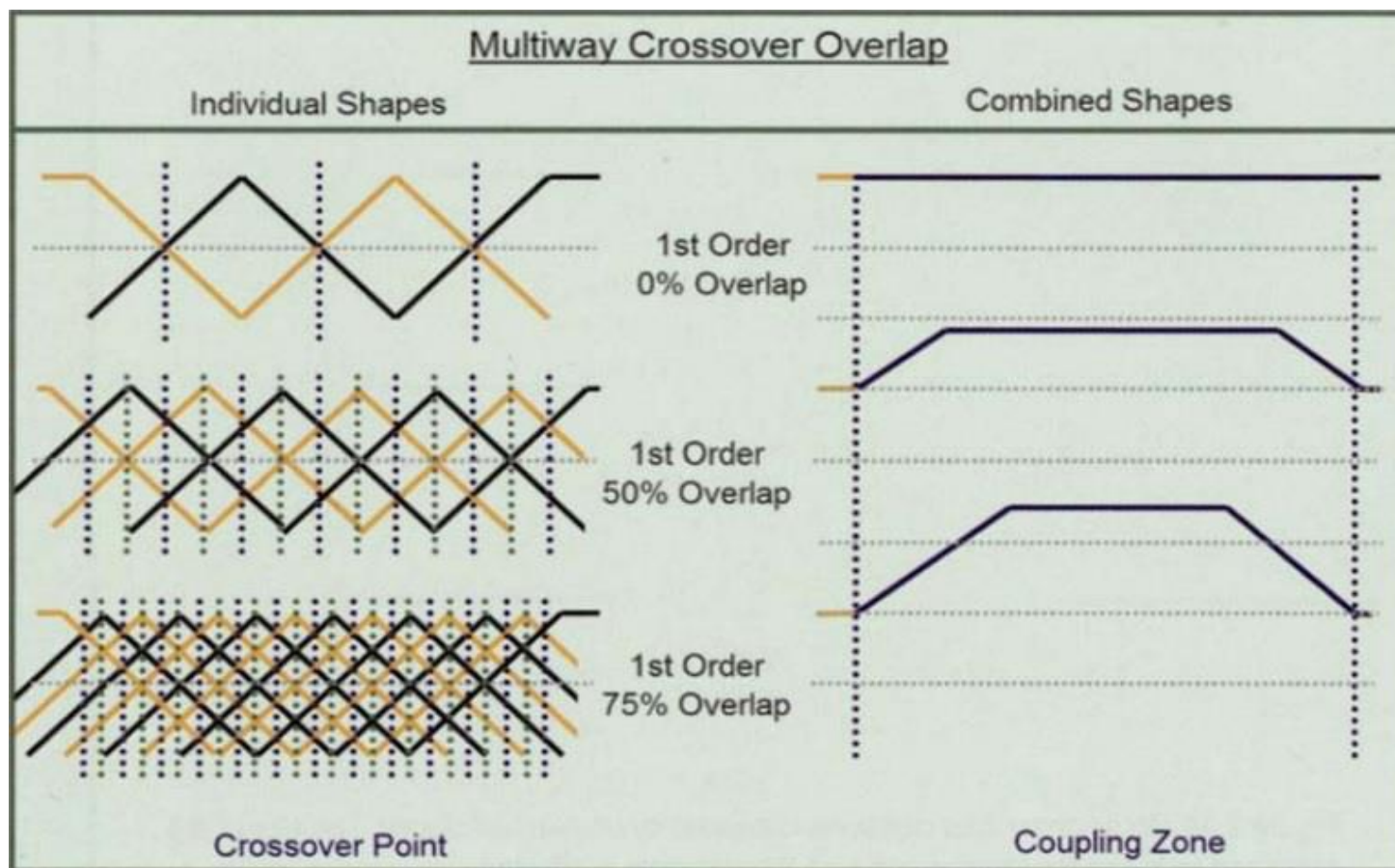
# Инженерия звука

Многополосные  
кроссоверы



# Инженерия звука

Избыточное  
суммирование  
многополосного  
кроссовера



# Инженерия звука

---

## Цель настройки (Пресет колонки)

- Достичь ровной АЧХ во всем диапазоне воспроизводимых частот.
- Достичь по возможности одинаковой направленности во всем диапазоне воспроизводимых частот.
- Достичь стабильной работы системы во всех ее режимах включая перегрузы.

# Инженерия звука

---

Что учитывать?

- Предназначение звуковой системы
- Полосу воспроизводимых частот динамиков
- Заявленную направленность по горизонтальной и вертикальной осям
- Мощность компонентов
- Особенности воспроизведения компонентов системы как отдельно, так и в совокупности с их оформлением

# Инженерия звука

---

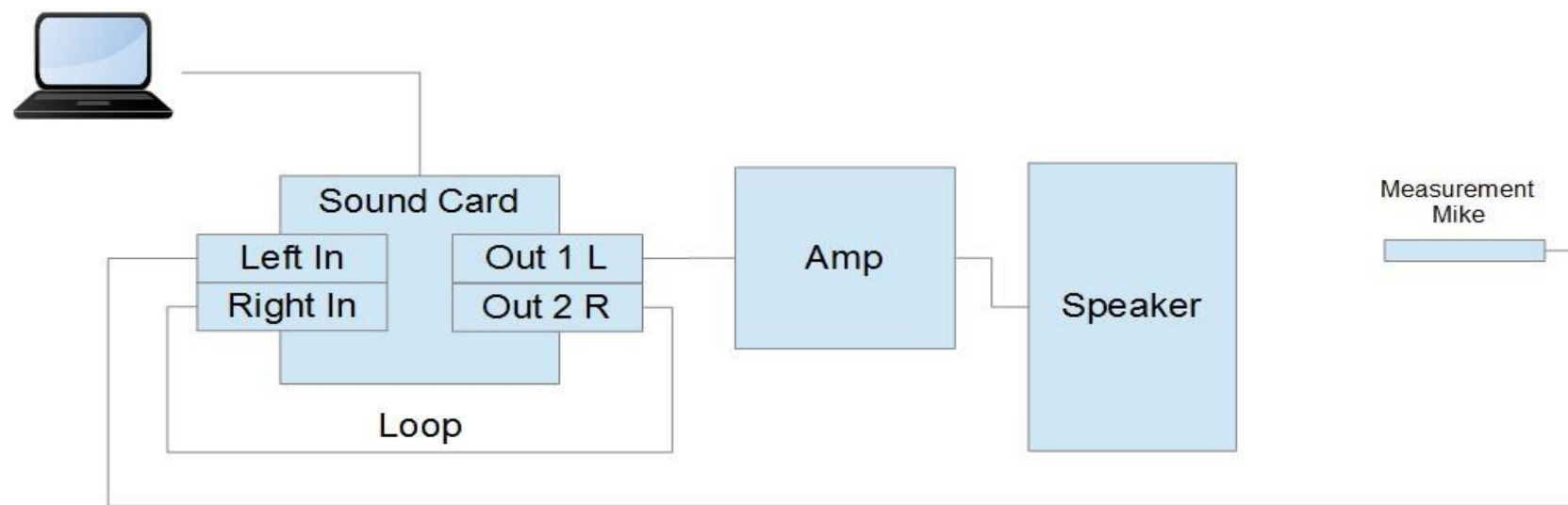
## Какие инструменты

- Измерительный прибор
- Low pass, High pass фильтры
- Эквалайзер (Bell, High Shelf, Low Shelf)
- Физическое расположение элементов
- Полярность
- Задержка
  - Абсолютная (Delay)
  - Групповая (All pass, Phase фильтры)

# Инженерия звука

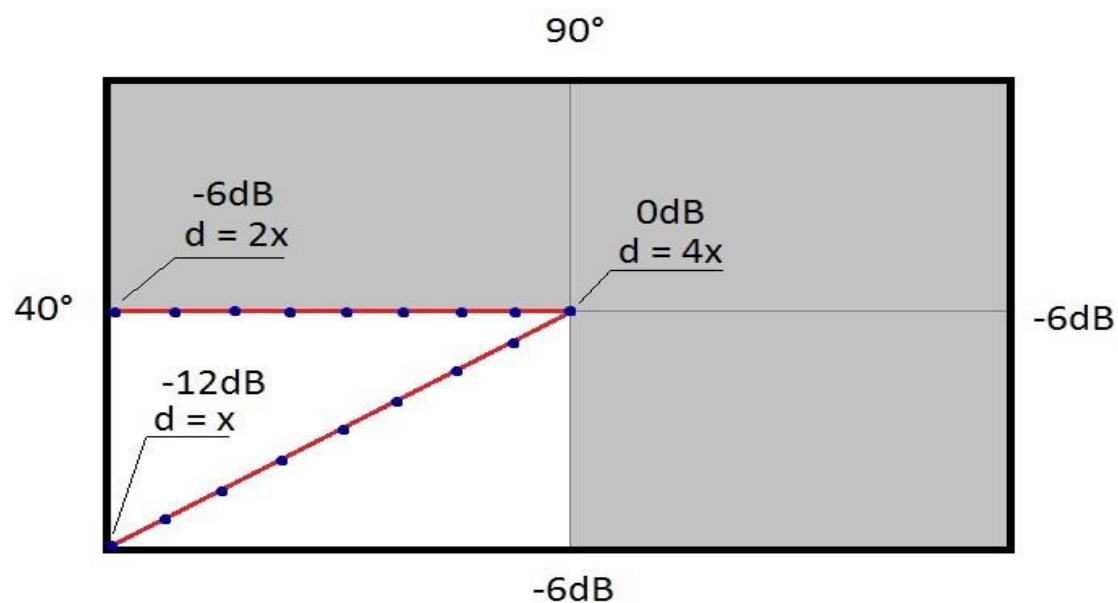
---

Как измерять?



# Инженерия звука

Измерение одного элемента колонки



# Инженерия звука

---

Закатаем рукава и примимся за работу!

...настраиваем 3-х полосную систему

# Инженерия звука

---

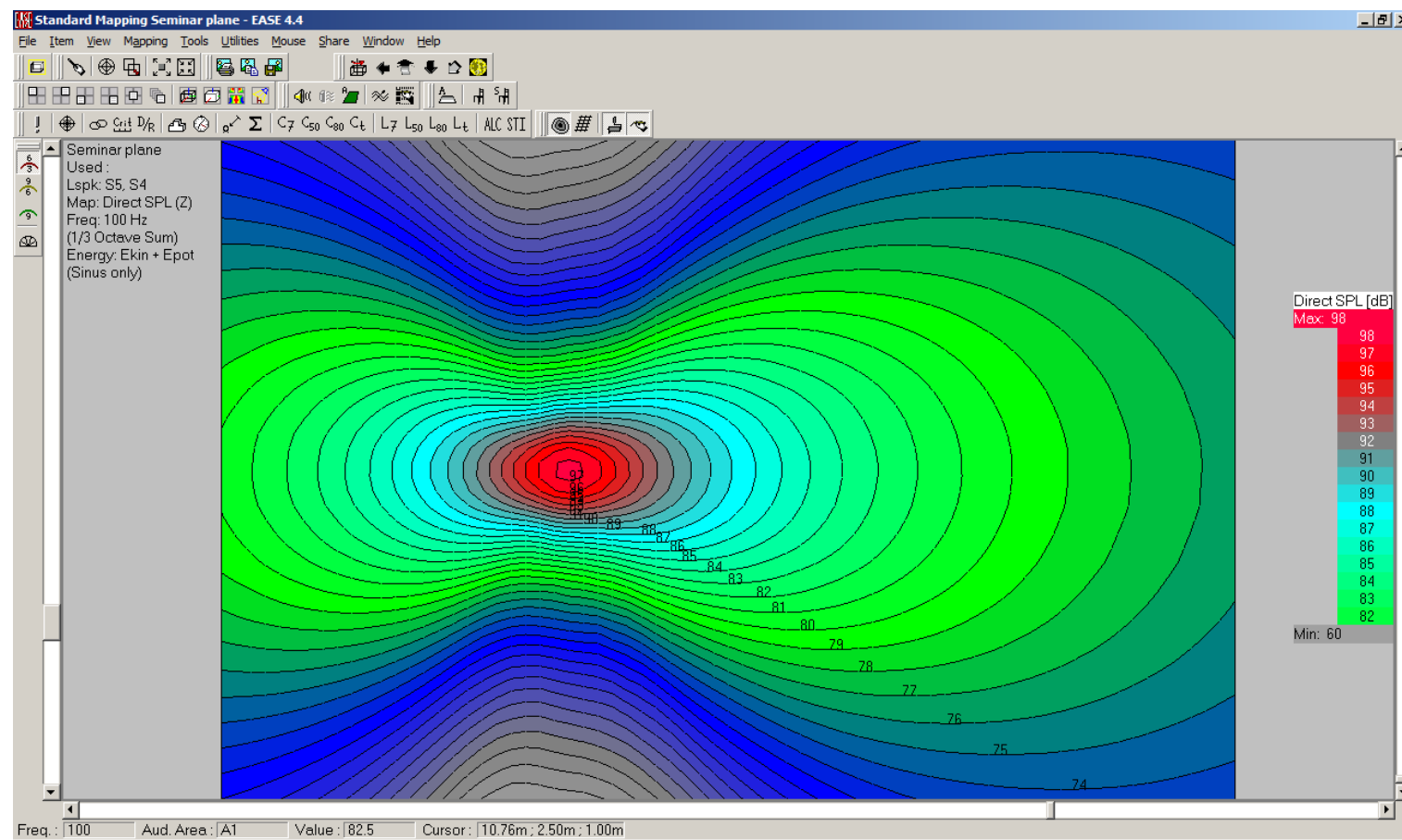
## Направленность низких частот

### Цели

- Научиться создавать направленные массивы, соответствующим тех заданию по узвучке площадки
- Простыми словами звучим куда надо и НЕ звучим куда НЕ надо

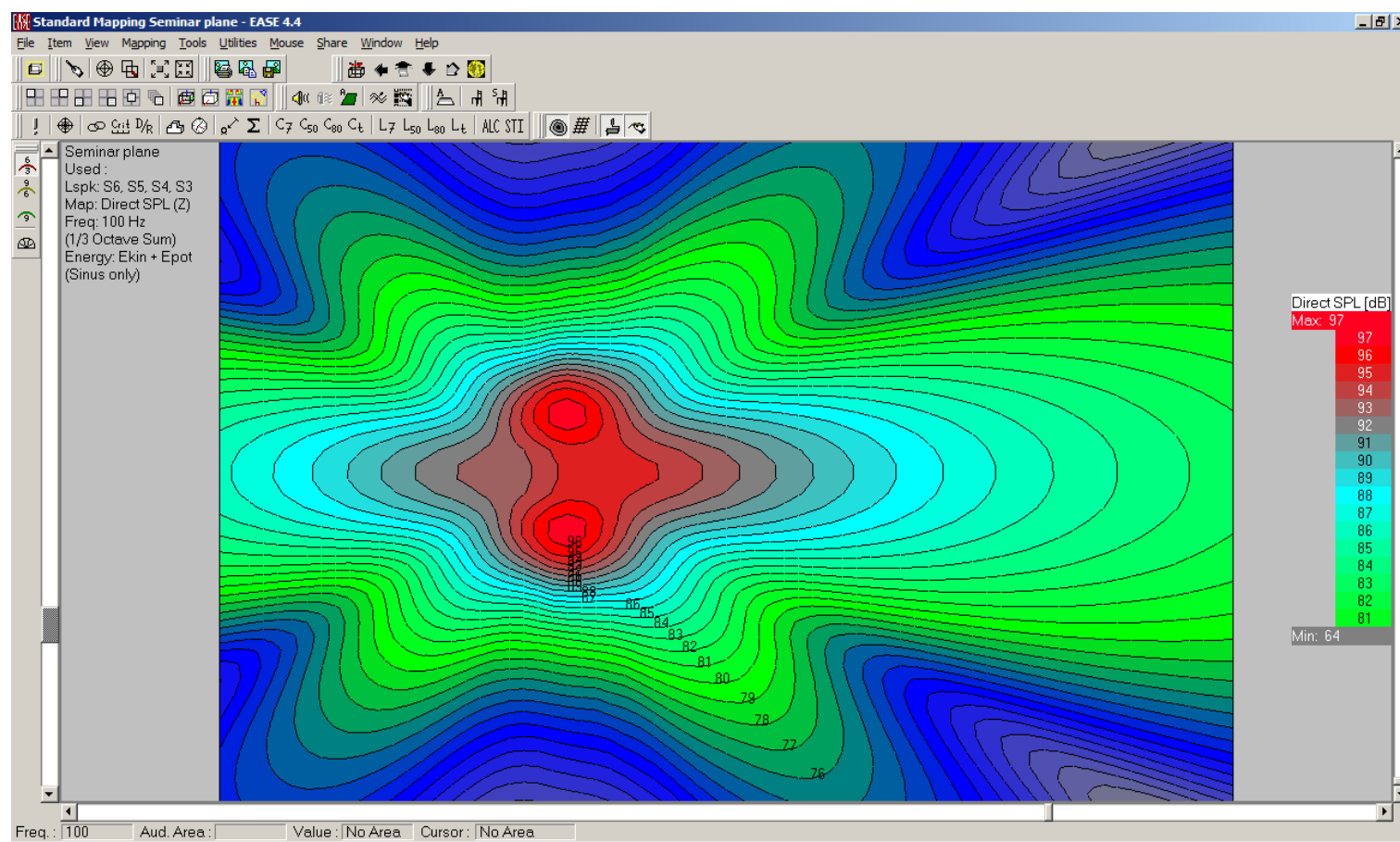
# Инженерия звука

2 суба



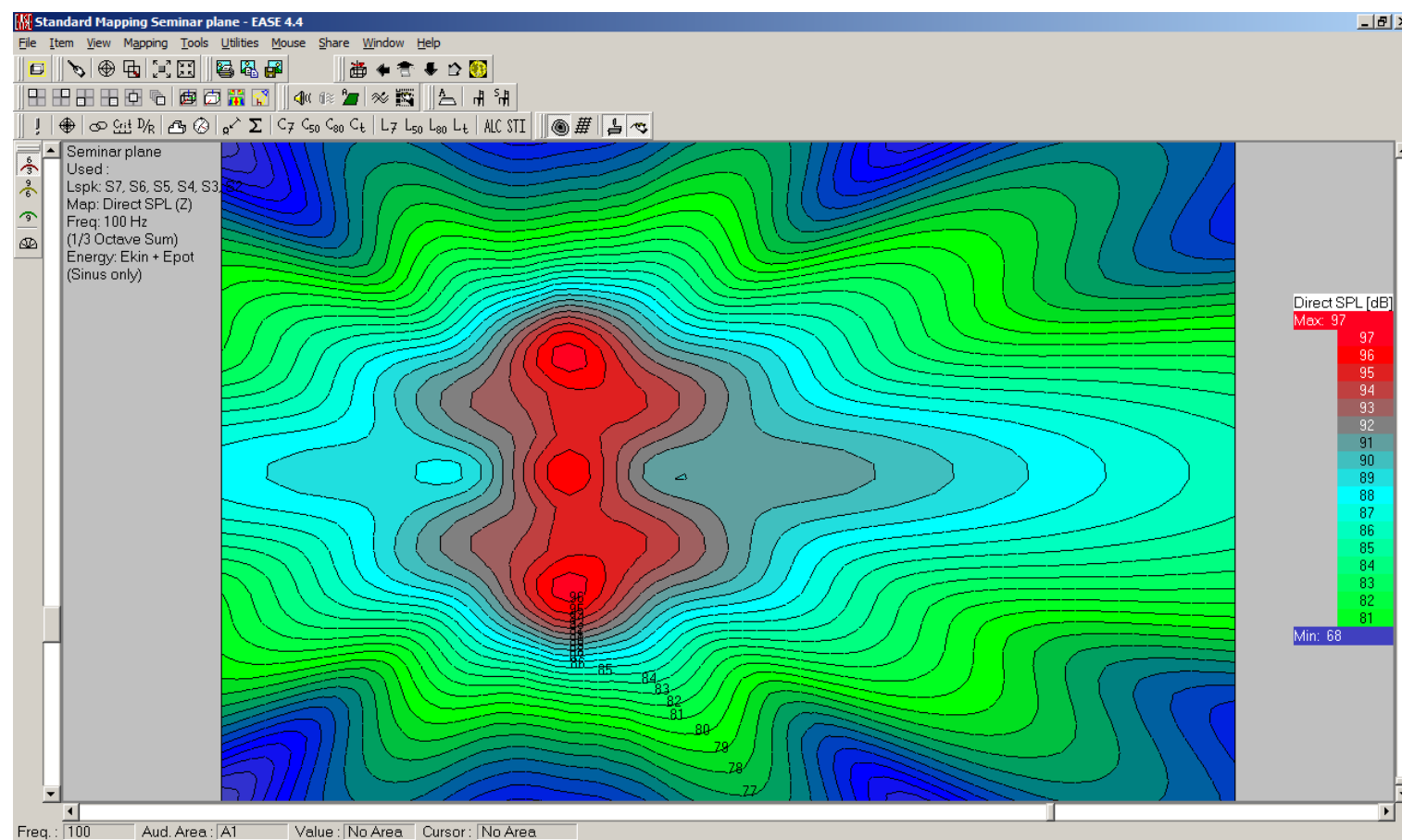
# Инженерия звука

4 суба



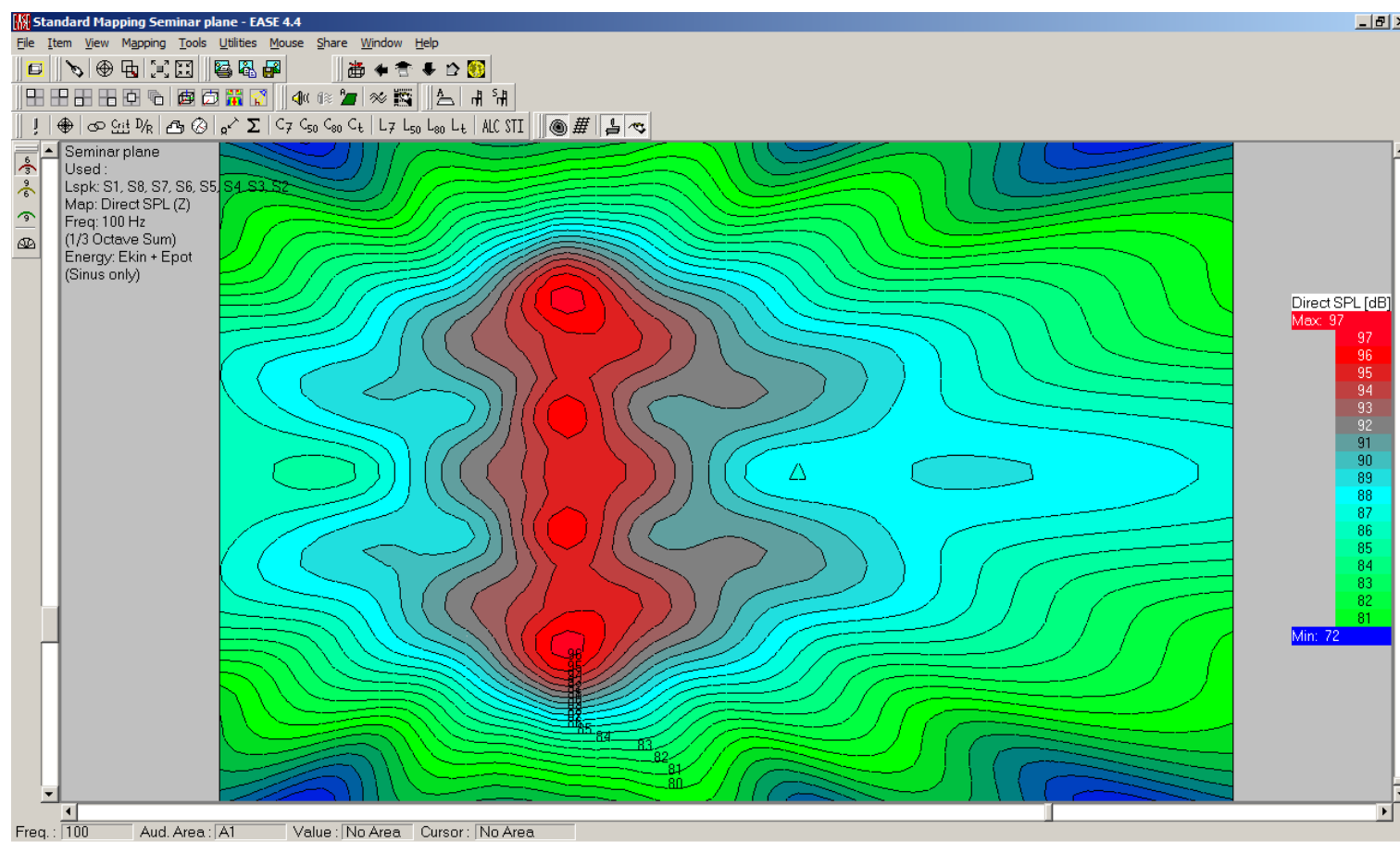
# Инженерия звука

6 субов



# Инженерия звука

8 субов



# Инженерия звука

8 субов

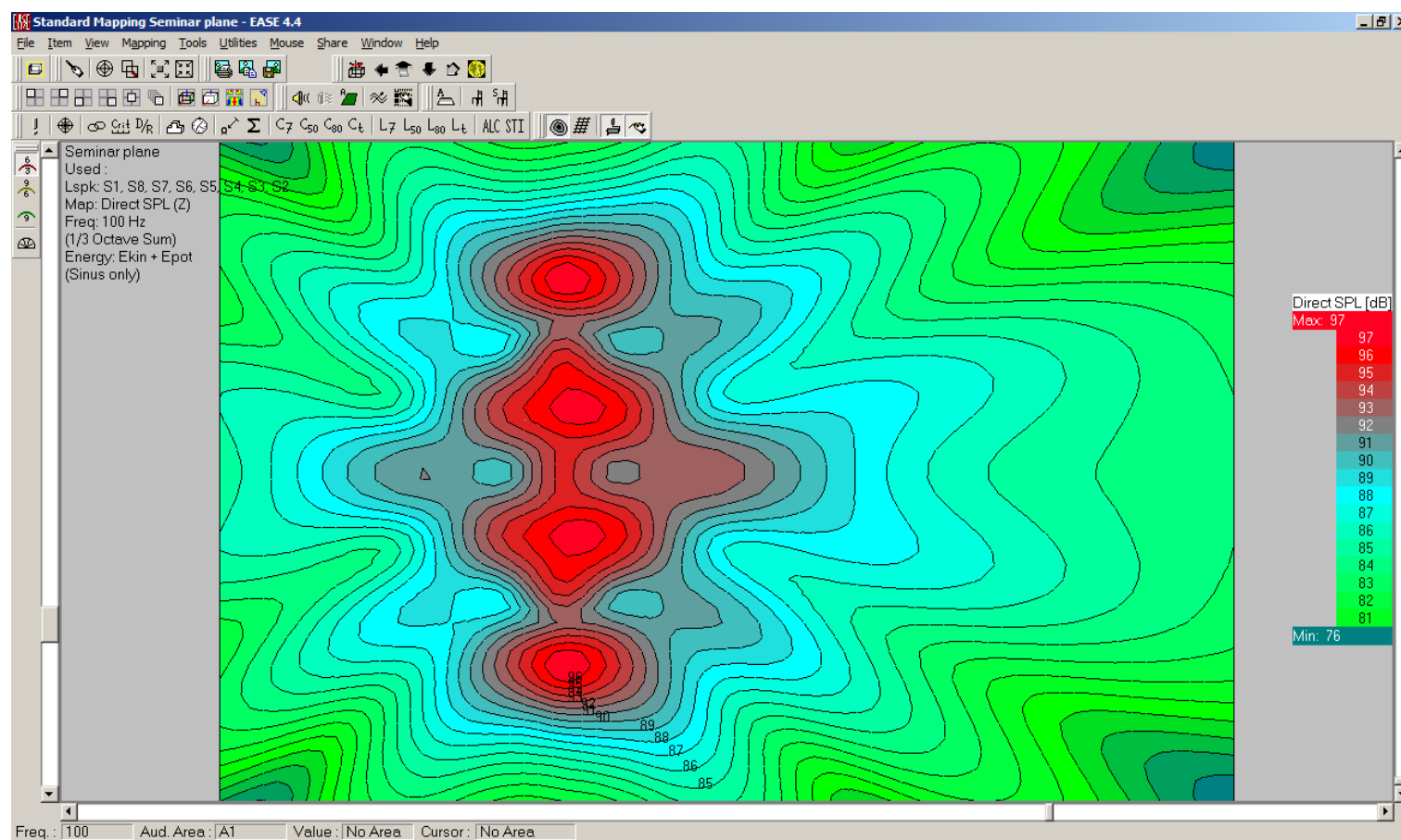
Арка

1.4 ms

0.4 ms

0.1 ms

0.0 ms



# Инженерия звука

---

Максимальное расстояние субов в линейном массиве

$$d_{\max} = 344 / f_{\text{xo}} / 3 * 2$$

Максимальная частота верхнего раздела

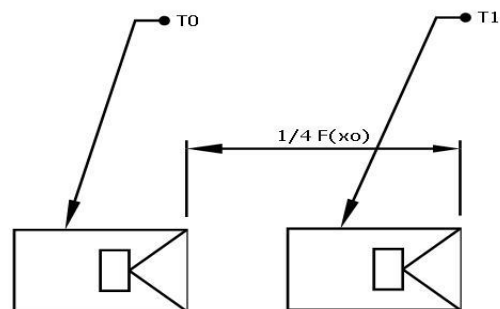
$$f_{\text{xo\_max}} = 344 / d / 3 * 2$$

Нижняя частота контроля направленности

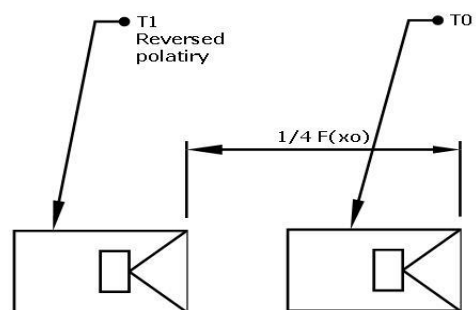
$$f_{\text{control}} = 344 / L_{\text{array}} / 3 * 2$$

# Инженерия звука

---



**End Fired**



**Rear Fired (Back fired)**

# Инженерия звука

---

Составляющие элементы сложных звуковых систем

- Главный массив
- Субы
- Фронтфилы
- Инфилы
- Аутфилы
- Задержки

# Инженерия звука

---

## Дизайн системы звукоусиления

- Расположение главного массива
- Расположение сабов
- Расположение вспомогательных элементов

# Инженерия звука

---

## Порядок действий

1. Установка главного массива
2. Эквиализация главного массива
3. Сведение фазы с субами
4. Точная установка вспомогательных элементов
5. Настройка вспомогательных элементов
6. Эквиализация с целью компенсировать недостатки акустики помещения!?

# Инженерия звука

---

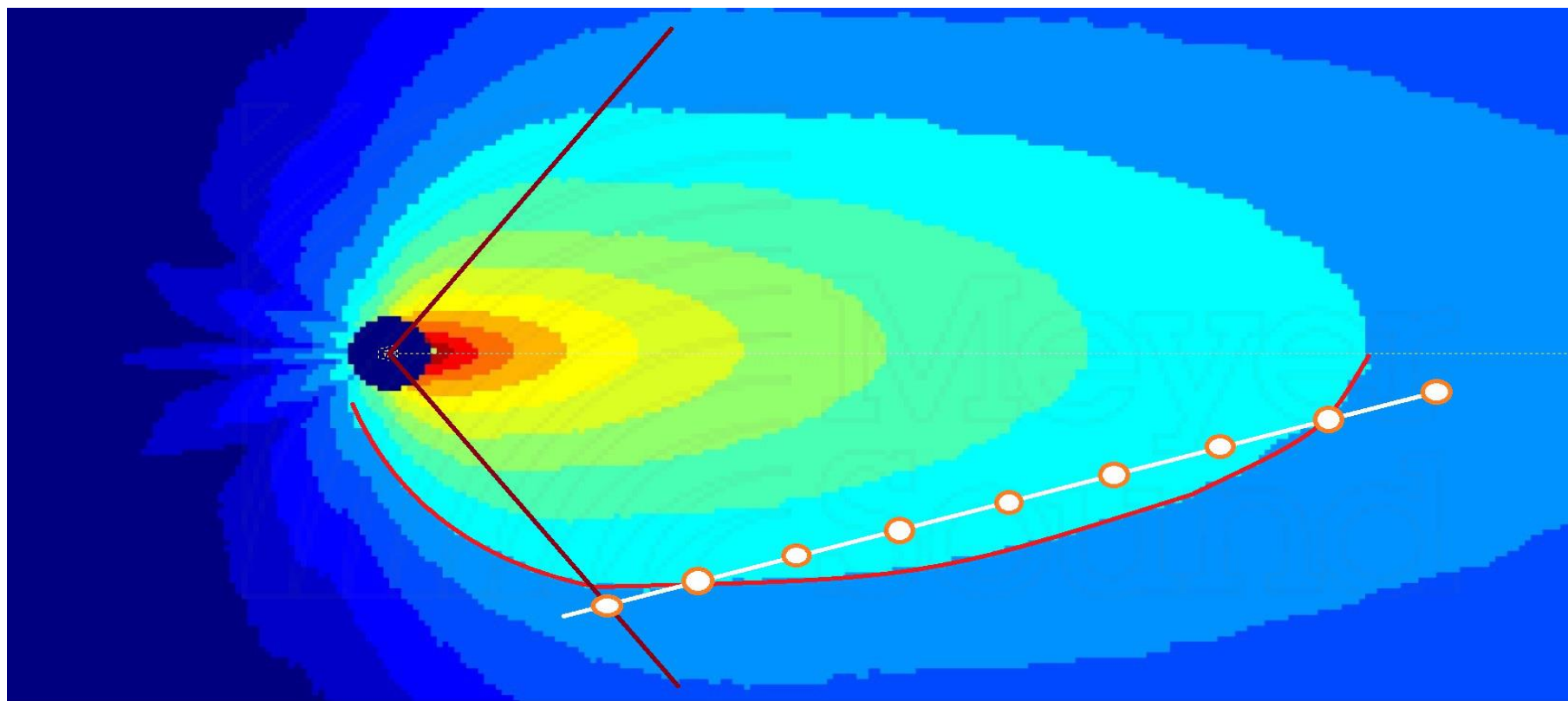
## Эквализация главного массива

- Измерять на уровне ушей
- Измерять только одну сторону
- Чем больше точек измерения – тем точнее

# Инженерия звука

---

Кривая равномерного коэффициента усиления



# Инженерия звука

---

Эквализируем главный массив...

# Инженерия звука

---

Сводим главный массив с сабами по времени...

# Инженерия звука

---

Куда ставить микрофон?

# Инженерия звука

---

Вот теперь сводим главный массив с сабами по времени...

# Инженерия звука

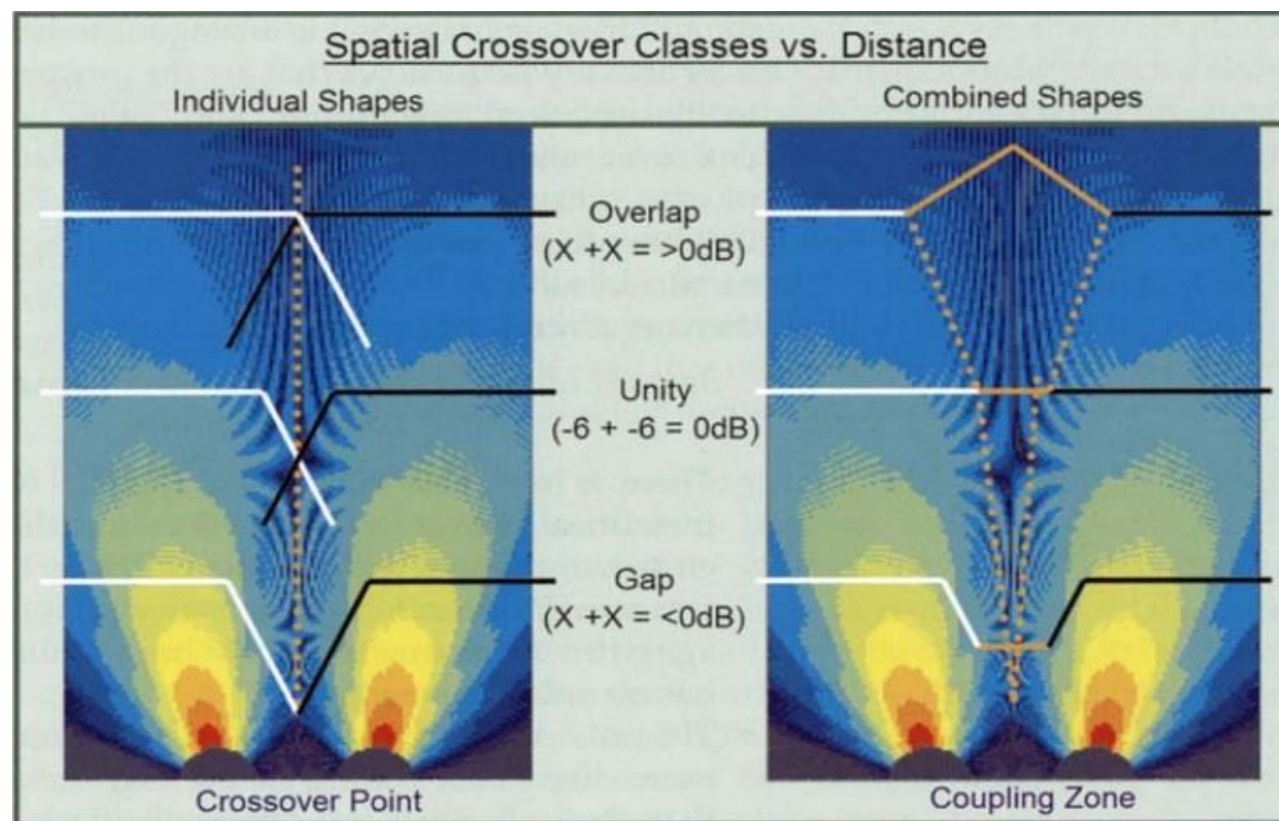
---

Установка вспомогательных элементов

Как располагать?

# Инженерия звука

## Пространственно-акустический кроссовер



# Инженерия звука

---

Настройка вспомогательных элементов

Компромис



Равномерность покрытия

Плавность перехода

# Инженерия звука

---

Вопросы?