Разпознаване на емоции в сигнали от реч и ЕЕГ

В началото

- ... бе Словото

В началото

- ... бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване

В началото

- ... бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване
- Прозодия (ритъм, интонация, ударение)

В началото

- ... бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване
- Прозодия (ритъм, интонация, ударение)

Попълването на вица е оставено за упражнение на читателя

В началото

- ... бе Словото
- Експлицитен и имплицитен канал при общуване
- Прозодия (ритъм, интонация, ударение)

Попълването на вица е оставено за упражнение на читателя

- Съчетаване на първичен (ЕЕГ) и вторичен (реч) канал

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ
- Съчетаване на двата сигнала

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ
- Съчетаване на двата сигнала
- Резултати

Влакче на мисълта

- Нулева зона (какво е емоция)
- Сигнал от реч
- Сигнал от ЕЕГ
- Съчетаване на двата сигнала
- Резултати
- Заключение

Нулева зона (какво е емоция)

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин
  - “Принцип на полезните навици”

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин
  - “Принцип на полезните навици”
  - “Принцип на противоположностите”

Нулева зона (какво е емоция)

- Теорията на Дарвин
  - “Принцип на полезните навици”
  - “Принцип на противоположностите”
  - “Принцип на нервните сигнали”

Нулева зона (какво е емоция)

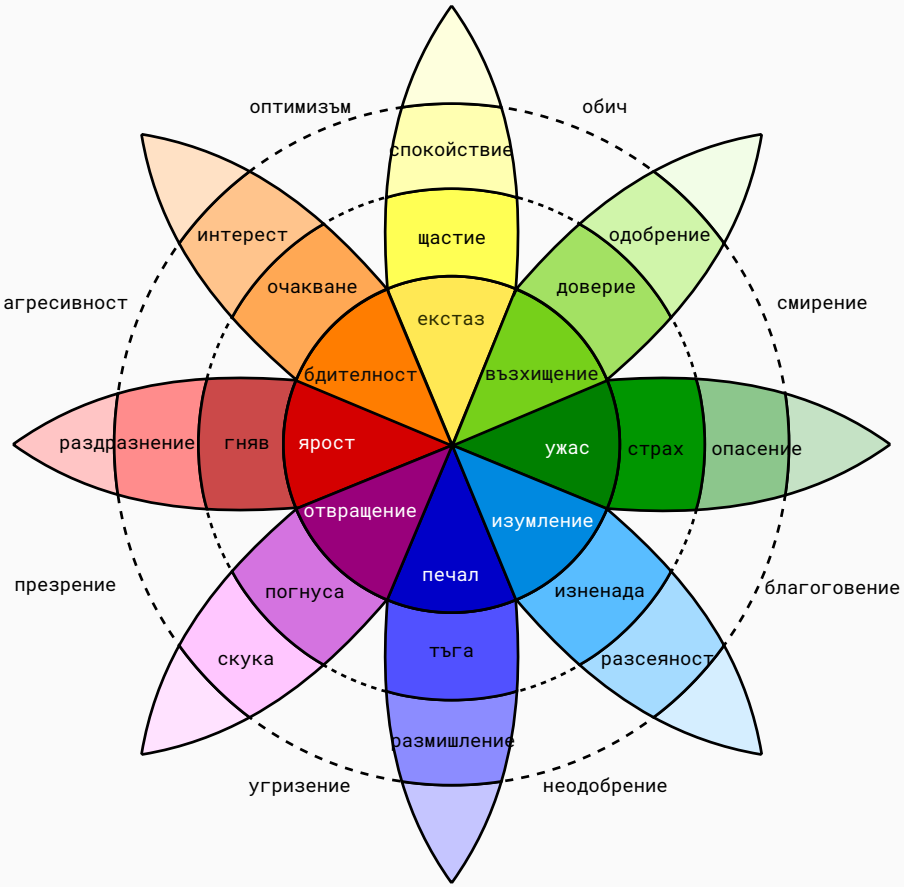
- Теорията на Дарвин
  - “Принцип на полезните навици”
  - “Принцип на противоположностите”
  - “Принцип на нервните сигнали”
- Продължението на Плутчик (1980)

Нулева зона (какво е емоция)

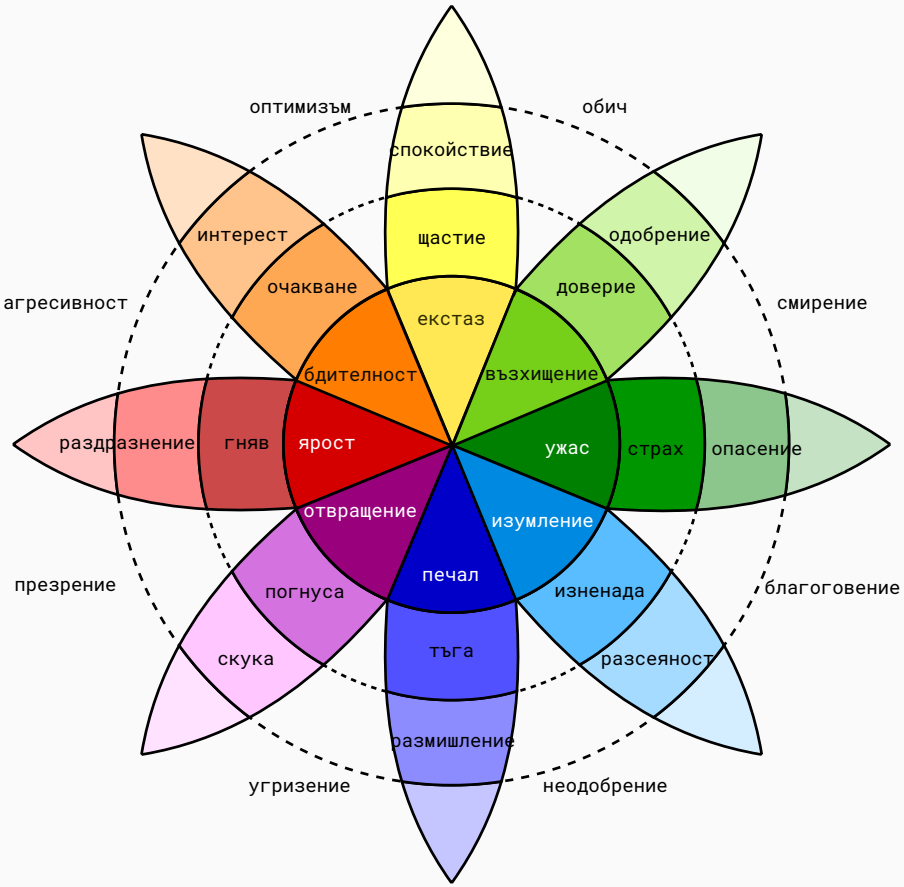
- Теорията на Дарвин
  - “Принцип на полезните навици”
  - “Принцип на противоположностите”
  - “Принцип на нервните сигнали”
- Продължението на Плутчик (1980)

  Емоцията е сложна верига от събития, която започва с някакъв стимул. В следствие настъпва фаза на “изпитване на емоция” и фаза на физиологични промени. Те предизвикват целенасочено държание, което цели да премахне дразнението на стимула и да върне състоянието на еквилибриум.

Нулева зона (какво е емоция)

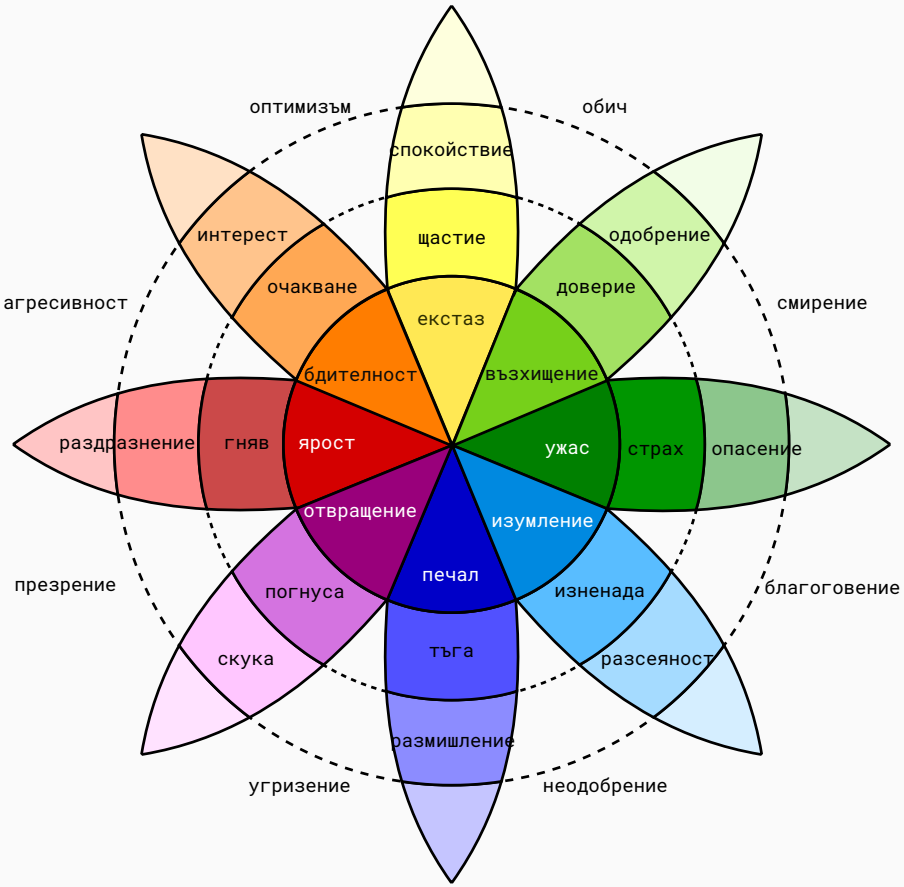


Нулева зона (какво е емоция)



+ Всяка емоция може да се изрази като комбинация на основните

Нулева зона (какво е емоция)



+ Всяка емоция може да се изрази като комбинация на основните

– Осем е голямо число

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

- В сигнала от реч се измерва по-лесно активацията

Нулева зона (какво е емоция)

- VAD модела - Алберт Мейерабиан и Джеймс Ръсел (1974)

- В сигнала от реч се измерва по-лесно активацията
- В сигнала от ЕЕГ се измерва по-лесно валентността

Нулева зона (какво е емоция)

Избрани емоции:

Нулева зона (какво е емоция)

Избрани емоции:

- Гняв

Нулева зона (какво е емоция)

Избрани емоции:

- Гняв
- Щастие

Нулева зона (какво е емоция)

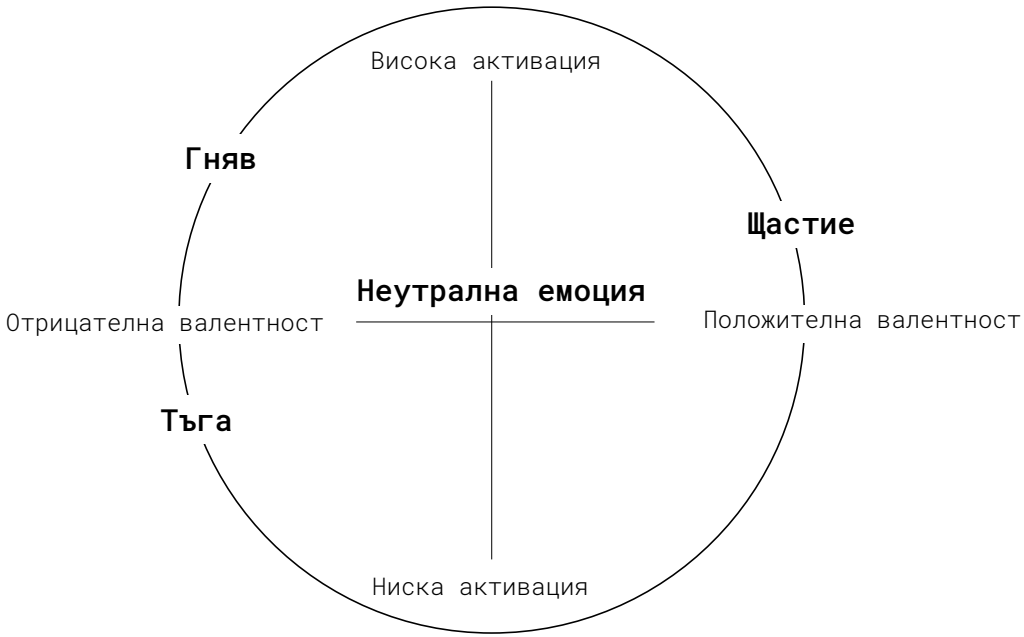
Избрани емоции:

- Гняв
- Щастие
- Неутрална емоция

Нулева зона (какво е емоция)

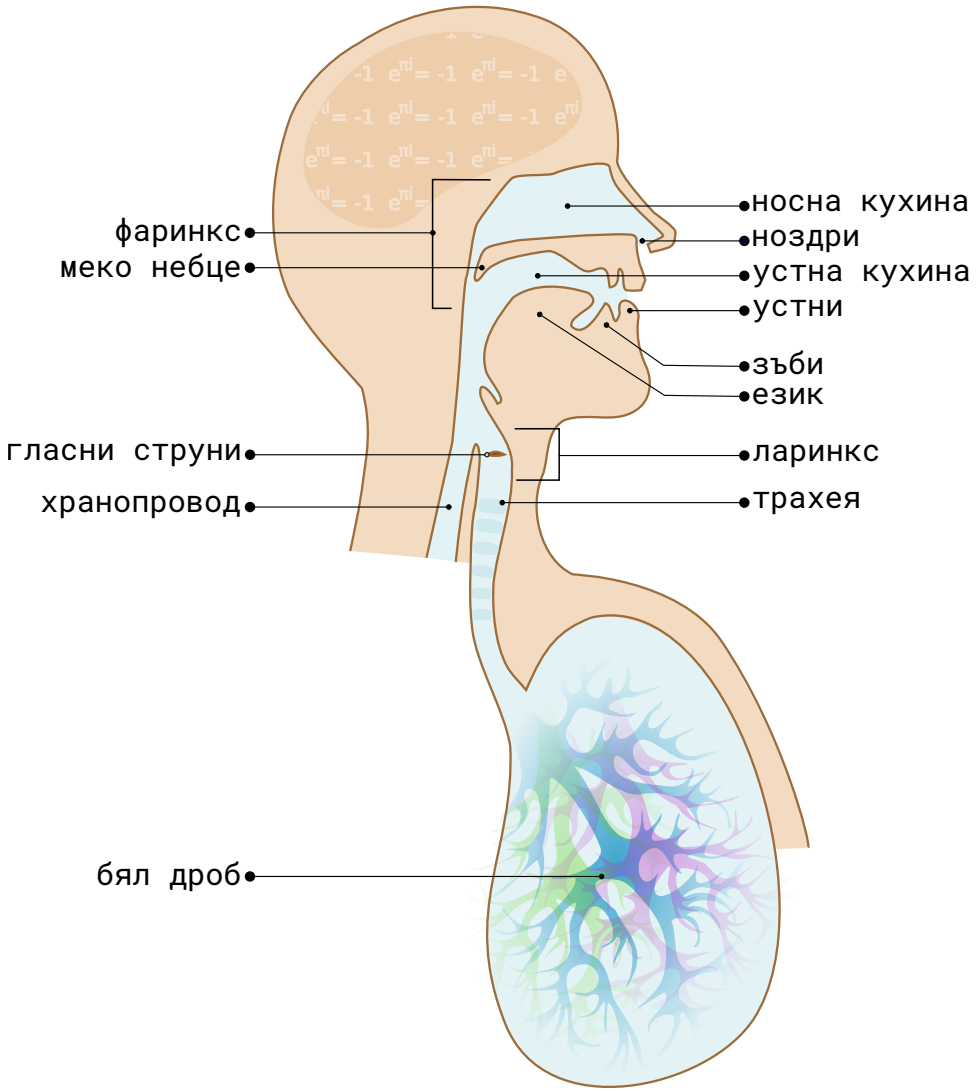
Избрани емоции:

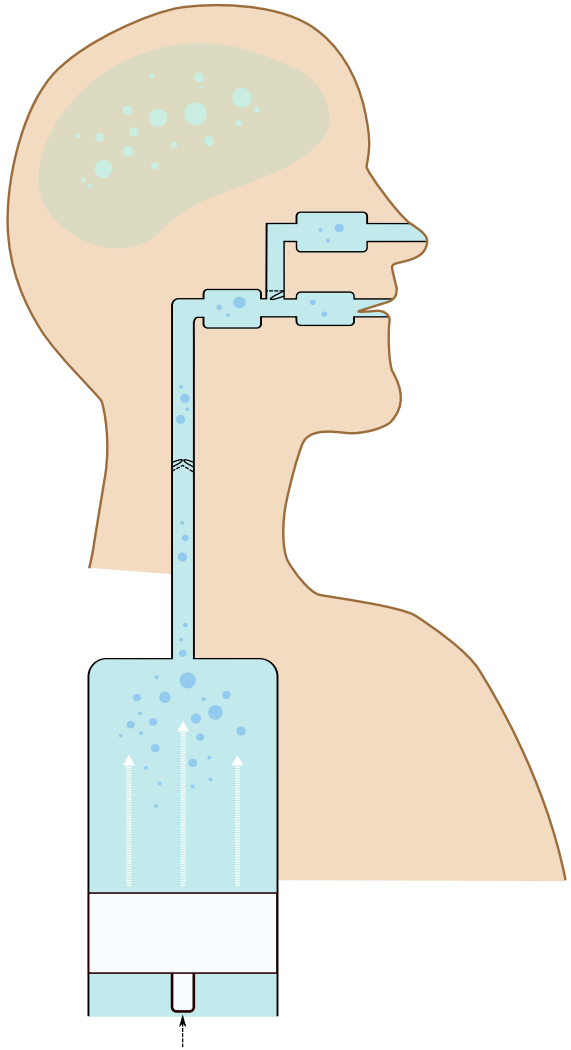
- Гняв
- Щастие
- Неутрална емоция
- Тъга



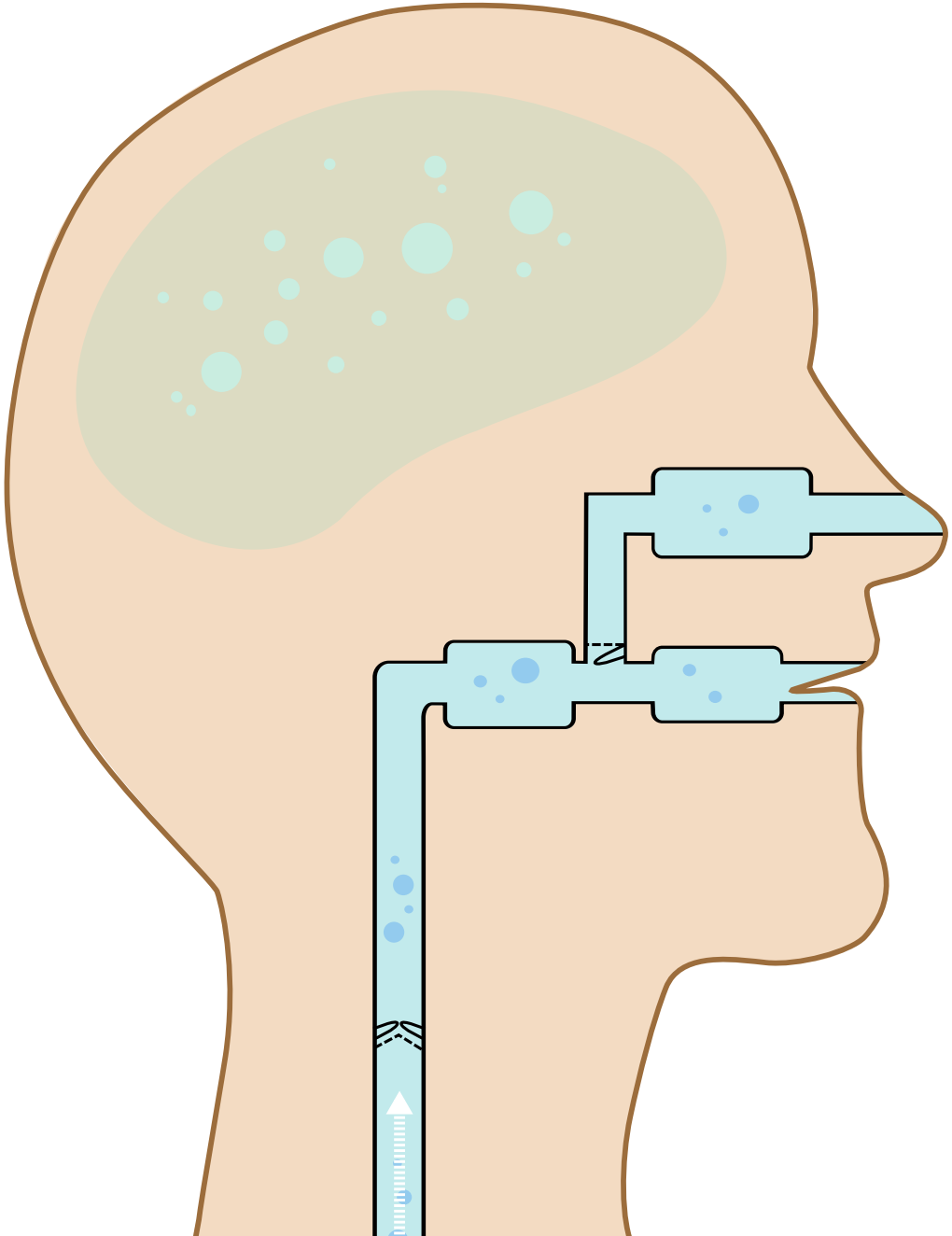
Сигнал от реч

Сигнал от реч - физическа обосновка





Сигнал от реч - физическа обосновка



Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “a“

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “a“
- Проходни (фрикативни) - “c“

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“
- Преградни - “п“

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“
- Преградни - “п“

Реч

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “a“
- Проходни (фрикативни) - “c“
- Преградни - “n“

Реч $\rightarrow$ думи

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “a“
- Проходни (фрикативни) - “c“
- Преградни - “n“

Реч $\rightarrow$ думи $\rightarrow$ фонеми

Сигнал от реч - физическа обосновка

Видове звуци:

- Озвучени - “а“
- Проходни (фрикативни) - “с“
- Преградни - “п“

Реч $\rightarrow$ думи $\rightarrow$ фонеми

“Страхът стискаше гърлото, задушаваше гласа.“

Сигнал от реч - физическа обосновка

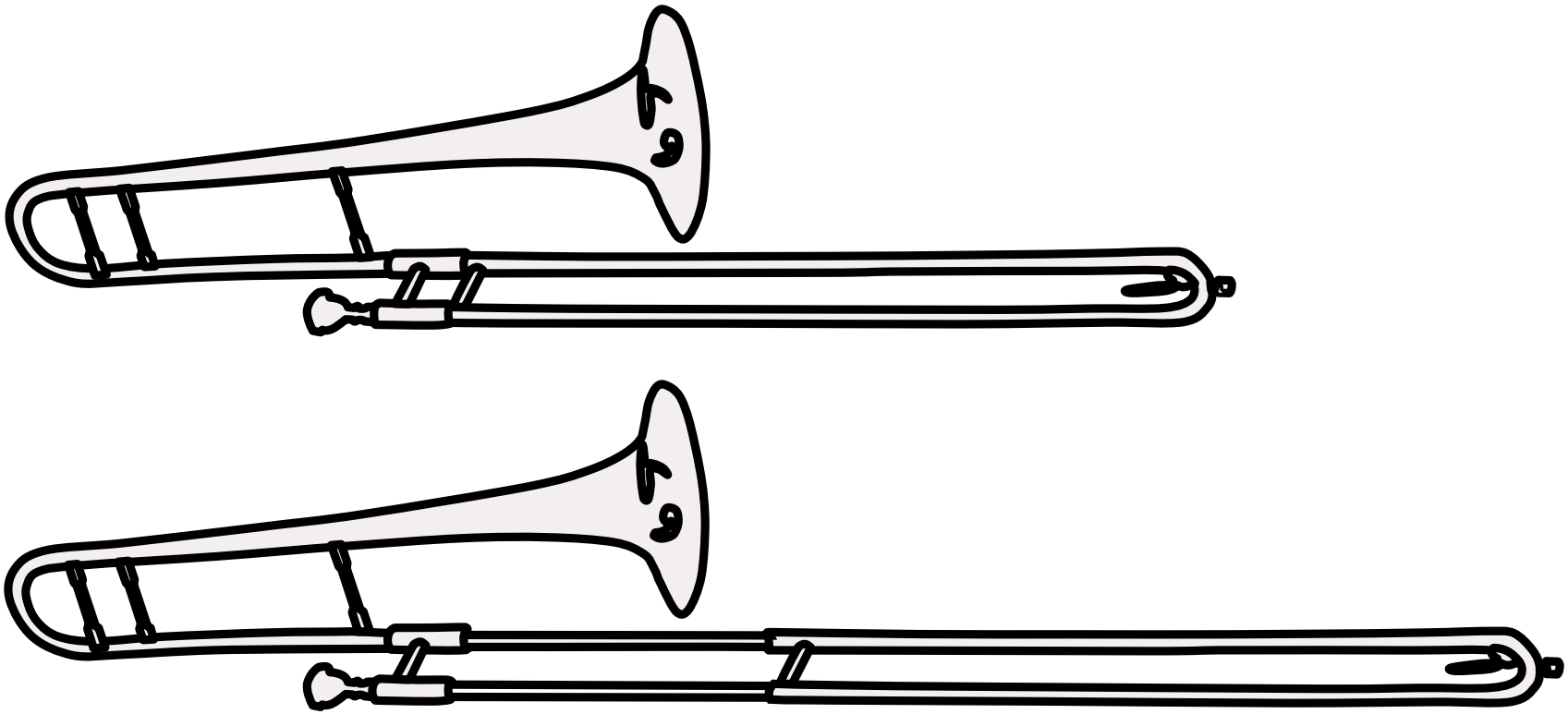
- Спектрални характеристики

Сигнал от реч - физическа обосновка

- Спектрални характеристики
- Честотна пропускливост

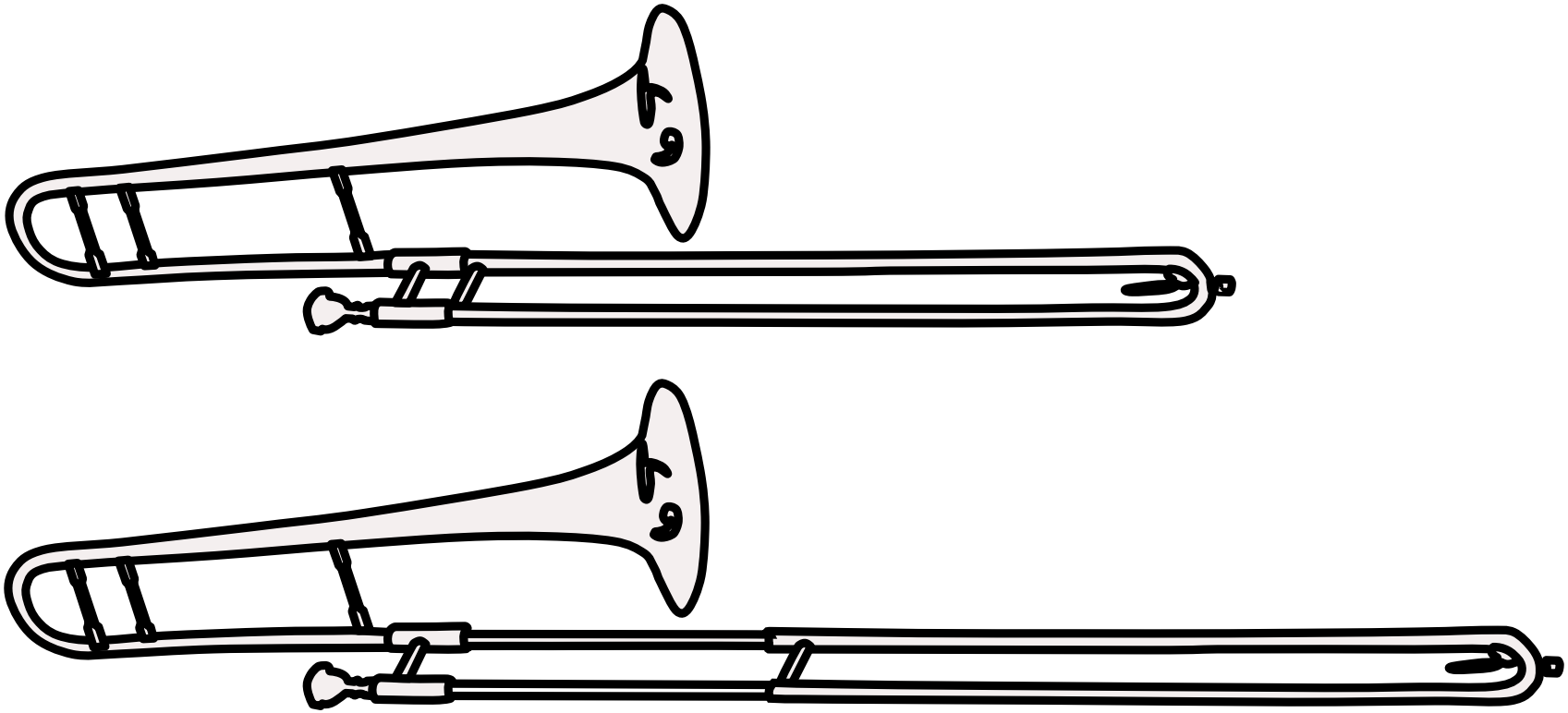
Сигнал от реч - физическа обосновка

- Спектрални характеристики
- Честотна пропускливост



Сигнал от реч - физическа обосновка

- Спектрални характеристики
- Честотна пропускливост



За да изследваме подлежащата емоция, трябва да изследваме спектралните свойства на статична конфигурация на вокалния тракт.

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата “ъ”

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата “ъ”
- Глотисът **g** трепти, вокалният тракт **v** филтрира сигнала, и вълната евентуално излиза и допълнително се променя от устните **r**

Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата "ъ"
- Глотисът **g** трепти, вокалният тракт **v** филтрира сигнала, и вълната евентуално излиза и допълнително се променя от устните **r**

  Ако $g(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{G}(z), v(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{V}(z), r(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{R}(z)$, а новият сигнал е y с $y(t) = g(t) * v(t) * r(t), y(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z)$, е изпълнено, че

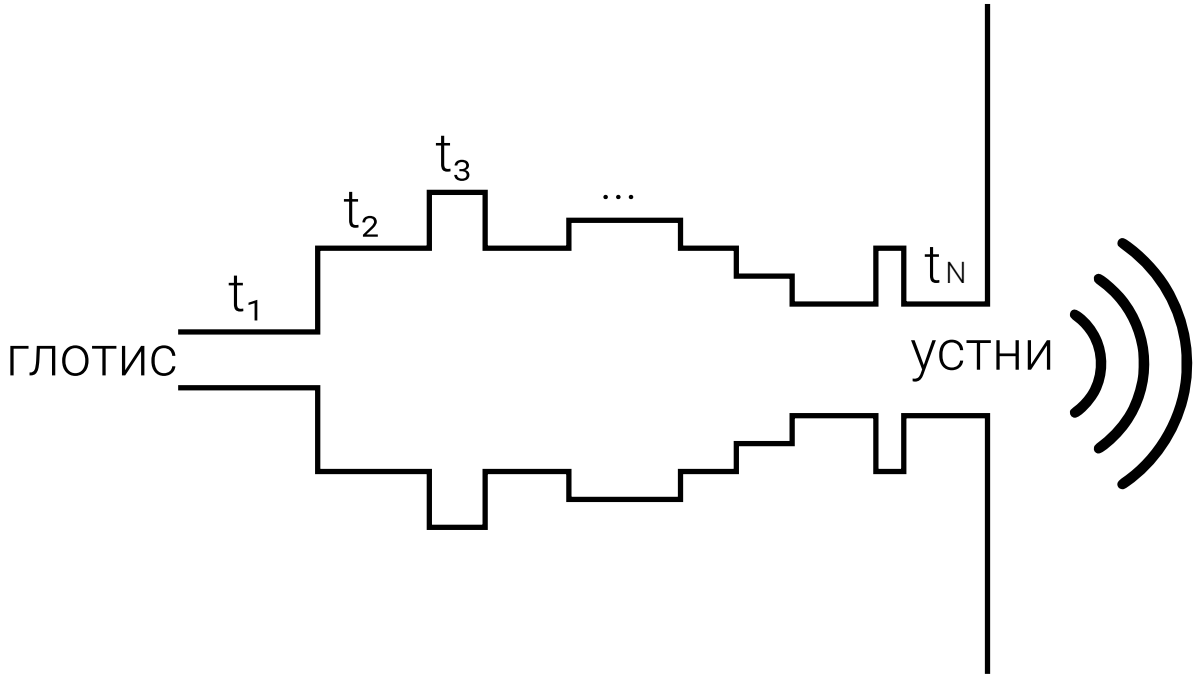
Сигнал от реч - модел на тръбите

- Ще моделираме системата за производство на реч с модела на тръбите
- Искаме да отделим вокалния тракт от останалите компоненти
- Да разгледаме фонемата "ъ"
- Глотисът **g** трепти, вокалният тракт **v** филтрира сигнала, и вълната евентуално излиза и допълнително се променя от устните **r**

  Ако $g(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{G}(z), v(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{V}(z), r(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{R}(z)$, а новият сигнал е y с $y(t) = g(t) * v(t) * r(t), y(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} Y(z)$, е изпълнено, че

- $\mathcal{Y}(z) = \mathcal{G}(z)\mathcal{V}(z)\mathcal{R}(z)$

Сигнал от реч - модел на тръбите



- c - скорост на звука в еластична среда
- ρ - плътност на въздуха в тръбите
- A - лицето на напречното сечение в тръба (константа)
- $u = u(x, t)$ - е обемната скорост на позиция x в момента t
- $p = p(x, t)$ - е звуковото налягане

Сигнал от реч - модел на тръбите

Уравнения на Навие-Стокс:

$$-\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\rho}{A}\frac{\partial u}{\partial t}$$
$$-\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{A}{\rho c^2}\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

Уравнения на Навие-Стокс:

$$-\frac{\partial \rho}{\partial x} = \frac{\rho}{A}\frac{\partial u}{\partial t}$$
$$-\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{A}{\rho c^2}\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

С решения от вида:

$$u(x,t) = \left[u^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p(x,t) = \frac{\rho c}{A}\left[u^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

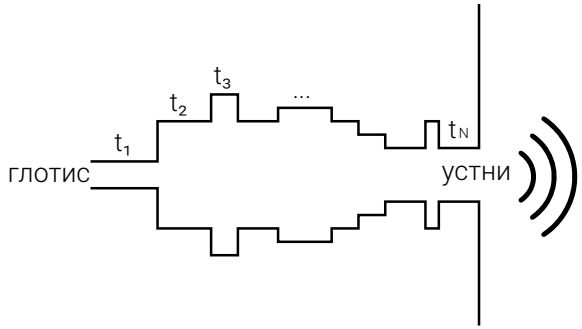
$$u(x,t) = \left[u^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) - u^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p(x,t) = \frac{\rho c}{A}\left[u^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) + u^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u(x,t) = \left[u^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) - u^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

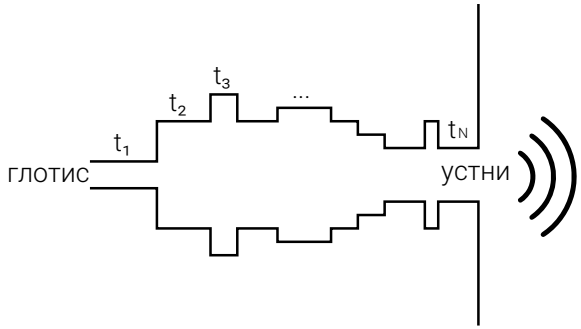
$$p(x,t) = \frac{\rho c}{A}\left[u^{+}\left(t - \frac{x}{c}\right) + u^{-}\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$



Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$



Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+\left(t-\frac{l_k}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{l_k}{c}\right) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{l_k}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{l_k}{c}\right)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+\left(t-\frac{l_k}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{l_k}{c}\right) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{l_k}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{l_k}{c}\right)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$\tau_k = \frac{l_k}{c}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+\left(t-\tau_k\right) - \boldsymbol{u_k^-\left(t+\tau_k\right)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\tau_k\right) + u_k^-\left(t+\tau_k\right)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - \boldsymbol{u_k^-(t+\tau_k)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k)\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + \boldsymbol{u_k^-(t+\tau_k)}\right] = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$\boldsymbol{u_k^-(t+\tau_k)} = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

и изразяваме u_{k+1}^+

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$t_k = \frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$t_k = \frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$t_k = \frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_k^+(t-\tau_k) - u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = \boldsymbol{u_k^+(t-\tau_k)}\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = \boldsymbol{u_k^+(t-\tau_k)}\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - \boldsymbol{u_k^-(t+\tau_k)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - \boldsymbol{u_k^-(t+\tau_k)} = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) - u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) - u_{k+1}^-(t)$$

$$\frac{A_{k+1}}{A_k}\left[u_k^+(t-\tau_k) + u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t) + u_{k+1}^-(t)\right]$$

$$u_{k+1}^+(t) = u_k^+(t-\tau_k)\left[\frac{2A_{k+1}}{A_k+A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = u_{k+1}^+(t)\left[\frac{A_k-A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right] + u_{k+1}^-(t)\left[\frac{A_k+A_{k+1}}{2A_{k+1}}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$.

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$.

Тогава $u_k(t-\tau_k) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} z^{-\tau_k}\,U_k(z)$.

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$.

Тогава $u_k(t-\tau_k) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} z^{-\tau_k}U_k(z)$.

$$U_k^+(z) = \frac{z^{\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$.

Тогава $u_k(t-\tau_k) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} z^{-\tau_k}U_k(z)$.

$$U_k^+(z) = \frac{z^{\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-\tau_k}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z) \qquad \tau_k = 1/2$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$u_k(l_k,t) = u_{k+1}(0,t)$$

$$p_k(l_k,t) = p_{k+1}(0,t)$$

$$r_k = \frac{A_{k+1}-A_k}{A_k+A_{k+1}}$$

$$u_k^+(t-\tau_k) = \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) - \frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

$$u_k^-(t+\tau_k) = -\frac{r_k}{1+r_k}u_{k+1}^+(t) + \frac{1}{1+r_k}u_{k+1}^-(t)$$

Нека $u_k(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_k(z)$.

Тогава $u_k(t-\tau_k) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} z^{-\tau_k}U_k(z)$.

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,t) = \left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t-\frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t+\frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните

Сигнал от реч - модел на тръбите

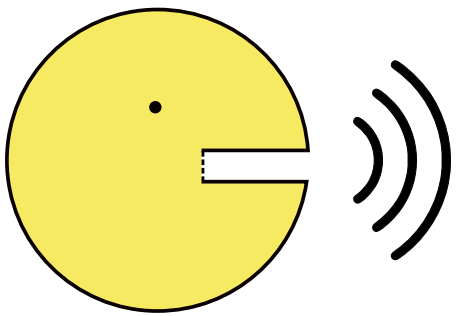
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните



Сигнал от реч - модел на тръбите

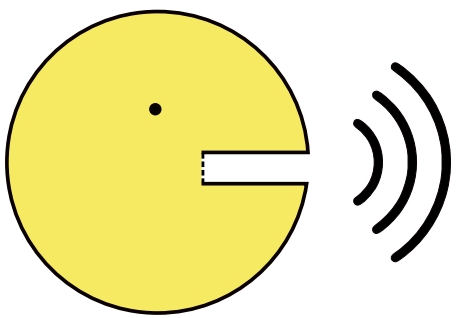
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

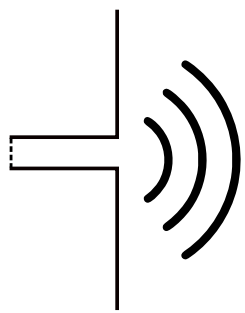
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





Сигнал от реч - модел на тръбите

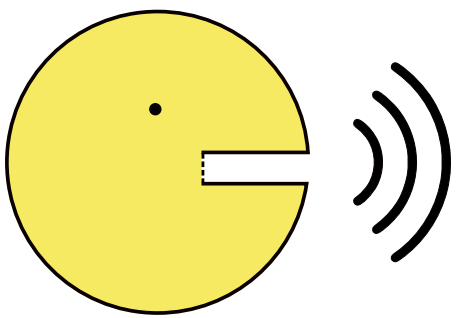
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

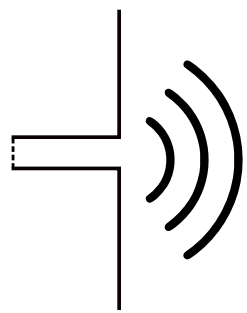
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





$$\mathcal{P}_N(l_N, z) = Z_L(z)\mathcal{U}_N(l_N, z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

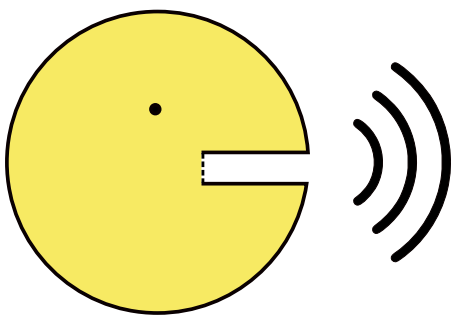
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

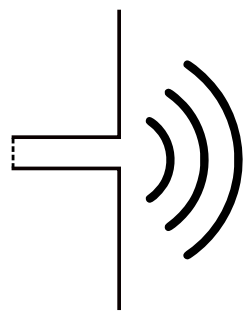
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





$$\mathcal{P}_N(l_N, z) = Z_L\mathcal{U}_N(l_N, z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

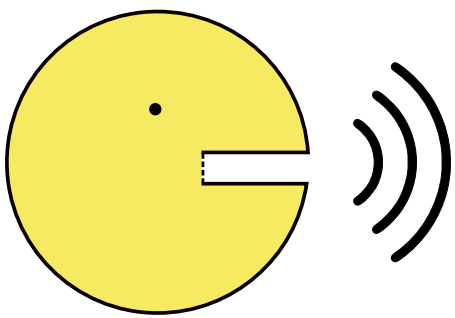
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

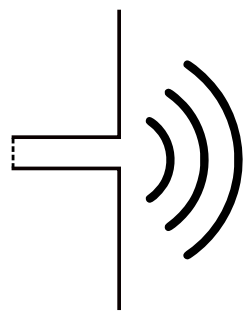
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





$$\mathcal{P}_N(l_N, z) = Z_L\mathcal{U}_N(l_N, z) \qquad p(l_N, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{P}_N(l_N, z),\, u_N(l_N, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} \mathcal{U}_N(l_N, z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

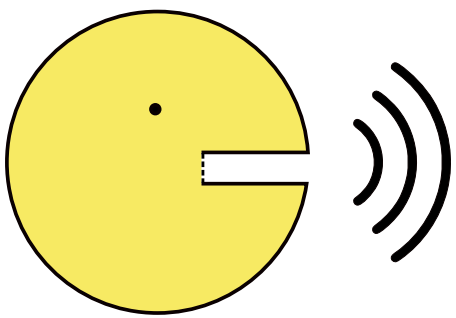
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

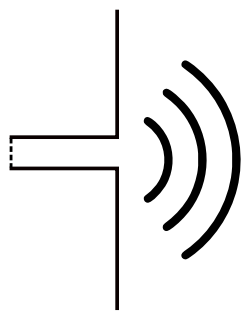
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрнаничения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

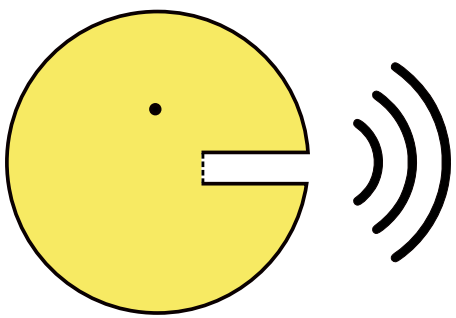
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

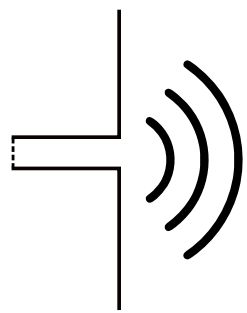
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрананичения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

$$u_N^-(t + \tau_N)\frac{(\rho c + A_N Z_L)}{A_N} = u_N^+(t - \tau_N)\frac{(A_N Z_L - \rho c)}{A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

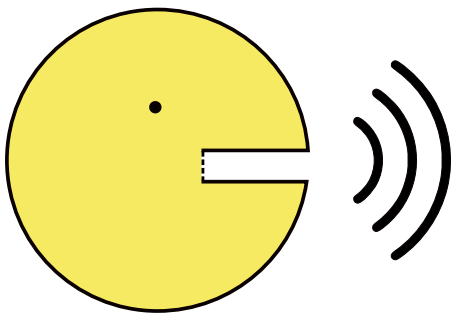
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

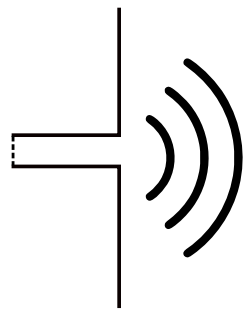
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрананичения при устните





$$p_N(l_N,\,t) = Z_L u_N(l_N,\,t)$$

$$u_N^-(t + \tau_N)\frac{(\rho c + A_N Z_L)}{A_N} = u_N^+(t - \tau_N)\frac{(A_N Z_L - \rho c)}{A_N} \qquad r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

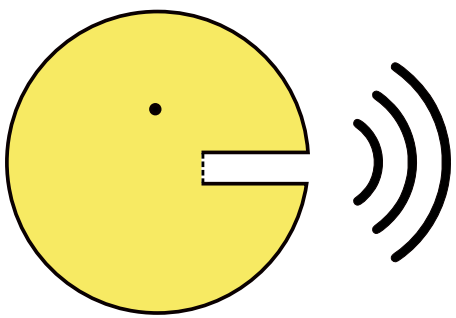
$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

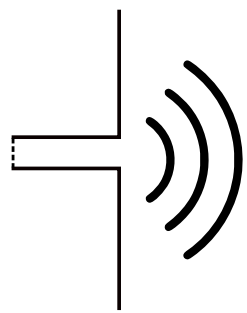
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

Огрананичения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

$$u_N^-(t + \tau_N) = -r_L u_N^+(t - \tau_N) \qquad r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

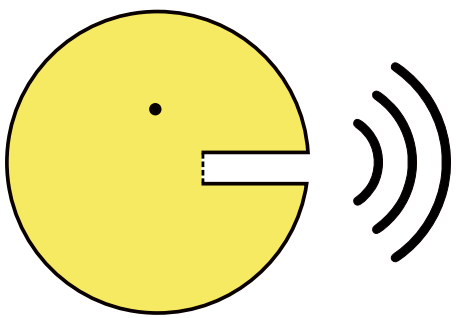
$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

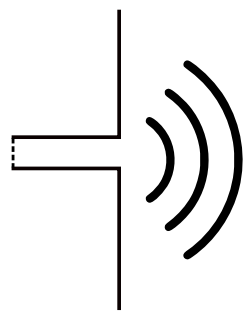
$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрананичения при устните





$$p_N(l_N, t) = Z_L u_N(l_N, t)$$

$$u_N^-(t + \tau_N) = -r_L u_N^+(t - \tau_N)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огранничения при глотиса

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрнаничения при глотиса

$$U_1(0, z) = U_G(z) - \frac{P_1(0, z)}{Z_G(z)}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрнаничения при глотиса

$$U_1(0, z) = U_G(z) - \frac{P_1(0, z)}{Z_G}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрнаничения при глотиса

$$U_1(0, z) = U_G(z) - \frac{P_1(0, z)}{Z_G}$$

$$u_1(0, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0, z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0, z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрананичения при глотиса

$$U_1(0, z) = U_G(z) - \frac{P_1(0, z)}{Z_G}$$

$$u_1(0, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0, z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0, z)$$

$$u_1(0, t) = u_G(t) - \frac{p_1(0, t)}{Z_G}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огранничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огранничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{A_1 Z_G}{A_1 Z_G + \rho c}\right] + u_1^-(t)\left[\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right]$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огрнаничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{A_1 Z_G}{A_1 Z_G + \rho c}\right] + u_1^-(t)\left[\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right] \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огранничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G u_1^-(t) \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

Огранничения при глотиса

$$U_1(0,z) = U_G(z) - \frac{P_1(0,z)}{Z_G}$$

$$u_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0,z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0,t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0,z)$$

$$u_1(0,t) = u_G(t) - \frac{p_1(0,t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G u_1^-(t) \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Огранничения при глотиса

$$U_1(0, z) = U_G(z) - \frac{P_1(0, z)}{Z_G}$$

$$u_1(0, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_1(0, z),\, u_G(t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} U_G(z),\, p_1(0, t) \overset{\mathcal{FS}}{\longleftrightarrow} P_1(0, z)$$

$$u_1(0, t) = u_G(t) - \frac{p_1(0, t)}{Z_G}$$

$$u_1^+(t) = u_G(t)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G u_1^-(t) \qquad r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$u_k(x,\,t) = \left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) - u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$p_k(x,\,t) = \frac{\rho c}{A_k}\left[u_k^+\left(t - \frac{x}{c}\right) + u_k^-\left(t + \frac{x}{c}\right)\right]$$

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1 + r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1 + r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0$$

$$r_N = r_L$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0$$

$$r_N = r_L \rightarrow A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

Сигнал от реч - модел на тръбите

$$U_k^+(z) = \frac{z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) - \frac{r_k z^{1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$U_k^-(z) = -\frac{r_k z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^+(z) + \frac{z^{-1/2}}{1+r_k}U_{k+1}^-(z)$$

$$r_L = \frac{\frac{\rho c}{Z_L} - A_N}{\frac{\rho c}{Z_L} + A_N}$$

$$r_G = \left(\frac{A_1 Z_G - \rho c}{A_1 Z_G + \rho c}\right)$$

$$U_1^+(z) = U_G(z)\left[\frac{1+r_G}{2}\right] + r_G U_1^-(z)$$

Общ вид

$$U_{N+1}^+(z) = U_L(z)$$

$$U_{N+1}^-(z) = 0$$

$$r_N = r_L \rightarrow A_{N+1} = \frac{\rho c}{Z_L}$$

$U_k = Q_k U_{k+1}$ за

$$U_k = \begin{bmatrix} U_k^+(z) \\ U_k^-(z) \end{bmatrix}$$

$$Q_k = \begin{bmatrix} \frac{z^{1/2}}{1+r_k} & \frac{-r_k z^{1/2}}{1+r_k} \\ \frac{-r_k z^{-1/2}}{1+r_k} & \frac{z^{-1/2}}{1+r_k} \end{bmatrix}$$