



Zavod za elektroakustiku



# **ZVUK I RAČUNALA**

## **Ak. god. 2017. / 2018.**

Prof. dr. sc. Siniša Fajt

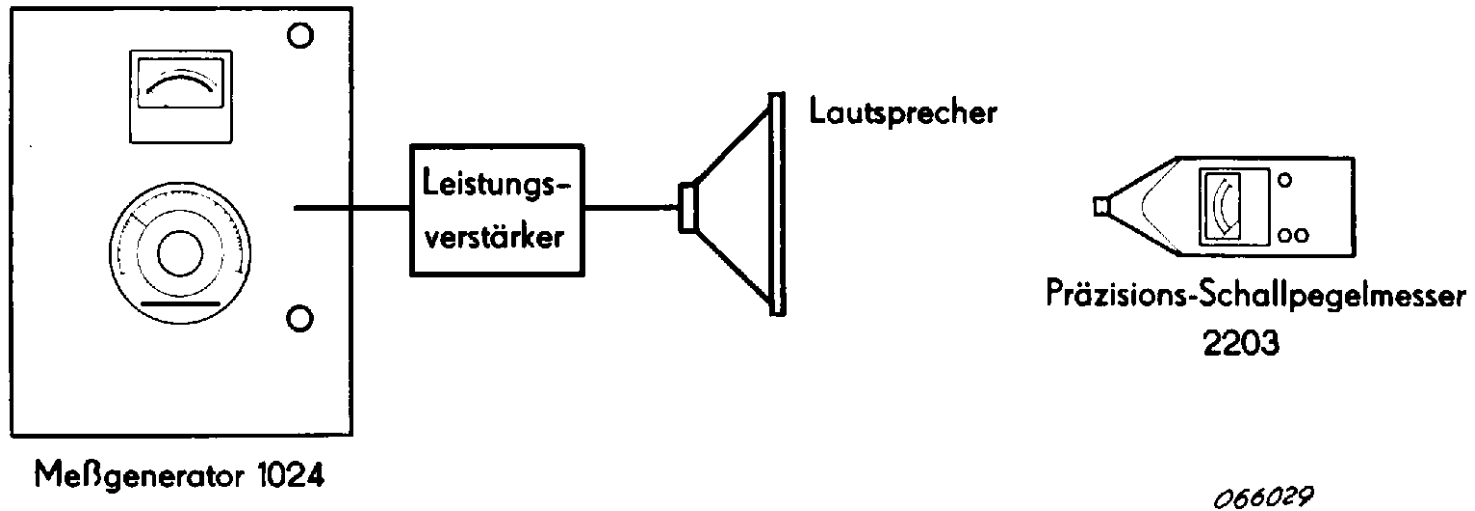
Dr. sc. Miljenko Krhen

***Elektroakustička mjerenja***

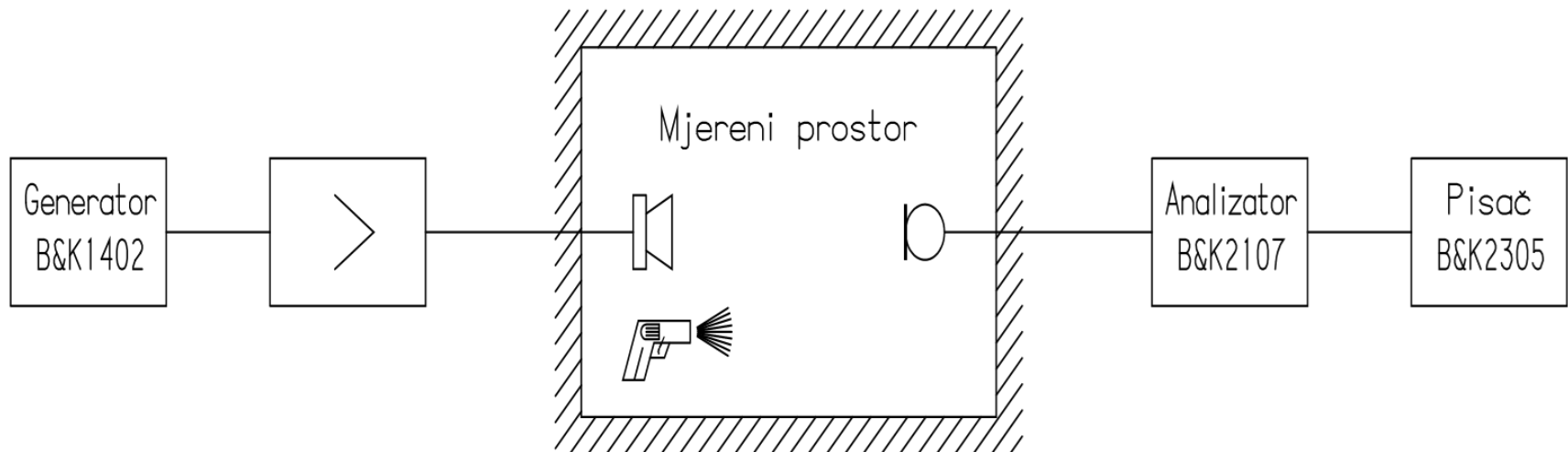
- ⇒ Elektroakustička mjerenja
  - ⇒ akustika
    - ⇒ zvuk u krutinama, tekućina i plinovima
  - ⇒ akustika i elektroakustički pretvarači
- ⇒ Audio mjerenja
  - ⇒ audio
    - ⇒ električni signal s frekvencijama u čujnom području
  - ⇒ crna kutija
  - ⇒ audiokomponente i audiosustavi
- ⇒ Osnovni parametri mjerenja
  - ⇒ razina signala
  - ⇒ frekvencija
  - ⇒ faza

- ⇒ Mjerenje raspodjele zvuka u prostoriji
- ⇒ Mjerenje vremena odjeka
  - ⇒ mjerenje pomoću praska
  - ⇒ mjerenje pomoću digitalnog zvukomjera
  - ⇒ mjerenje pomoću TEF-a
- ⇒ ETC
  - ⇒ TEF
- ⇒ TDS
- ⇒ 3D TDS

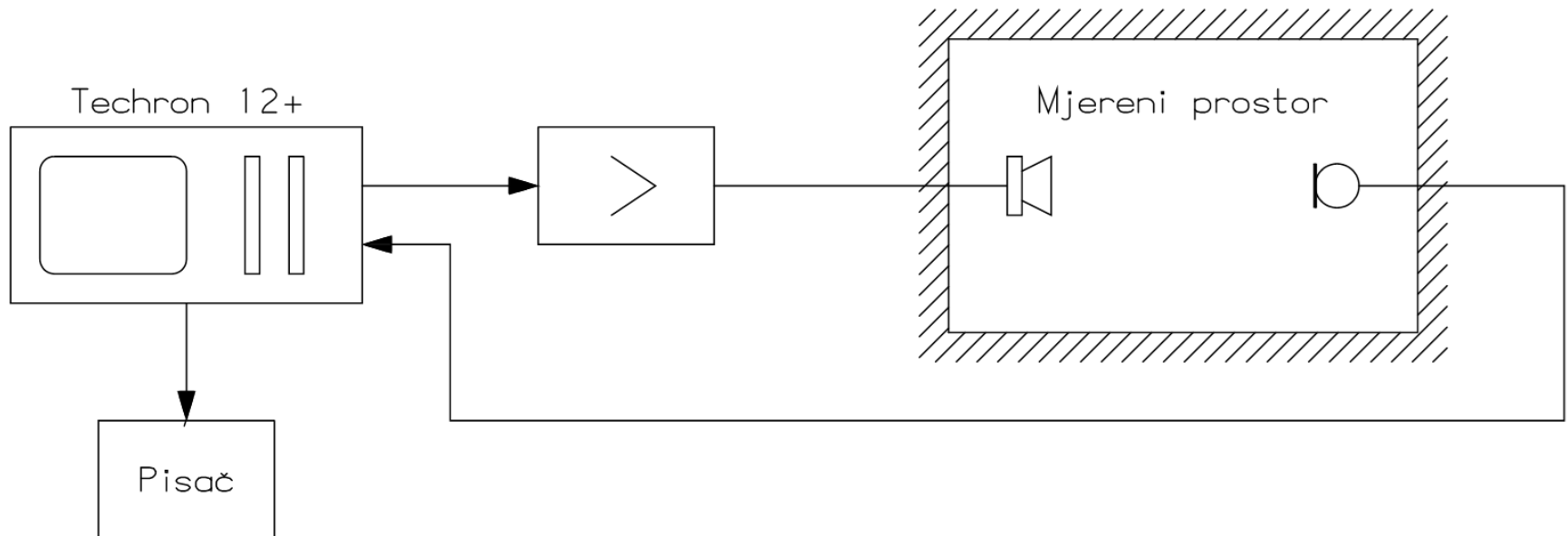
⇒ Mjerenje raspodjele zvučnog tlaka



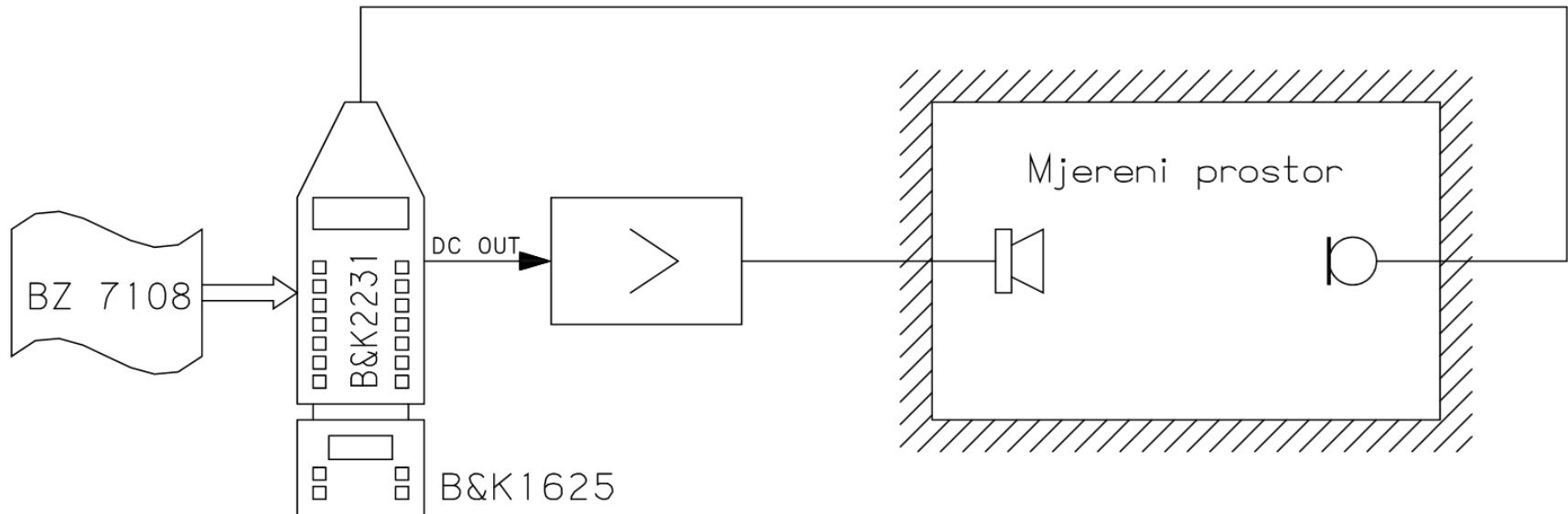
## ⇒ Mjerenje vremena odjeka s pomoću praska



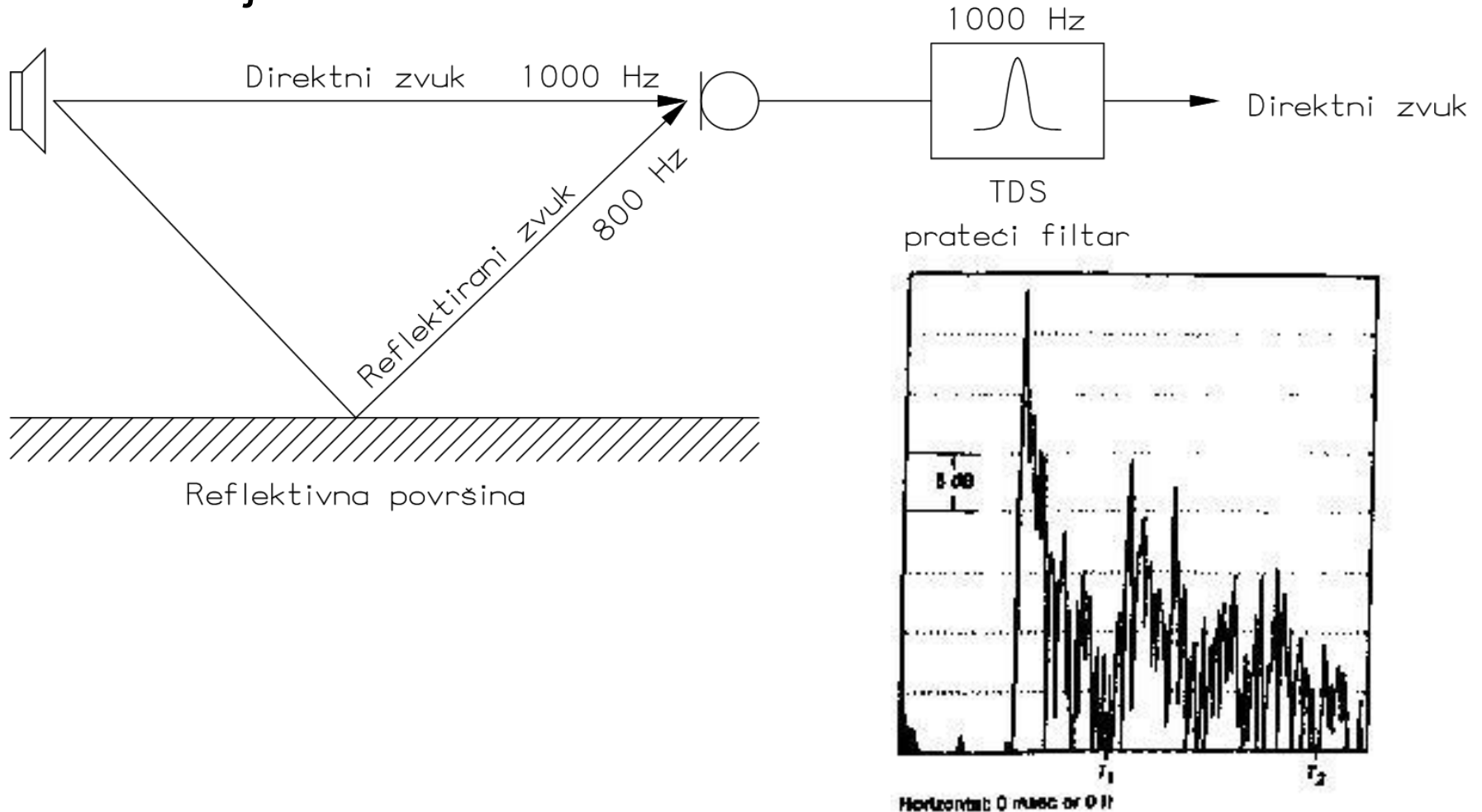
## ⇒ Mjerenje vremena odjeka s pomoću TEF-a



## ⇒ Mjerenje vremena odjeka s pomoću digitalnog zvukomjera

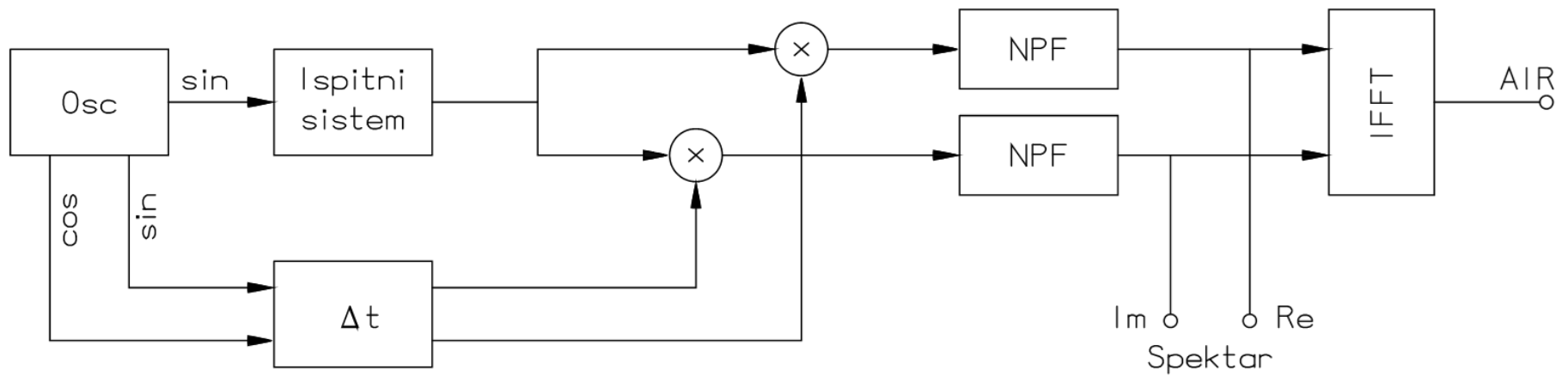


## ⇒ ETC mjerna metoda

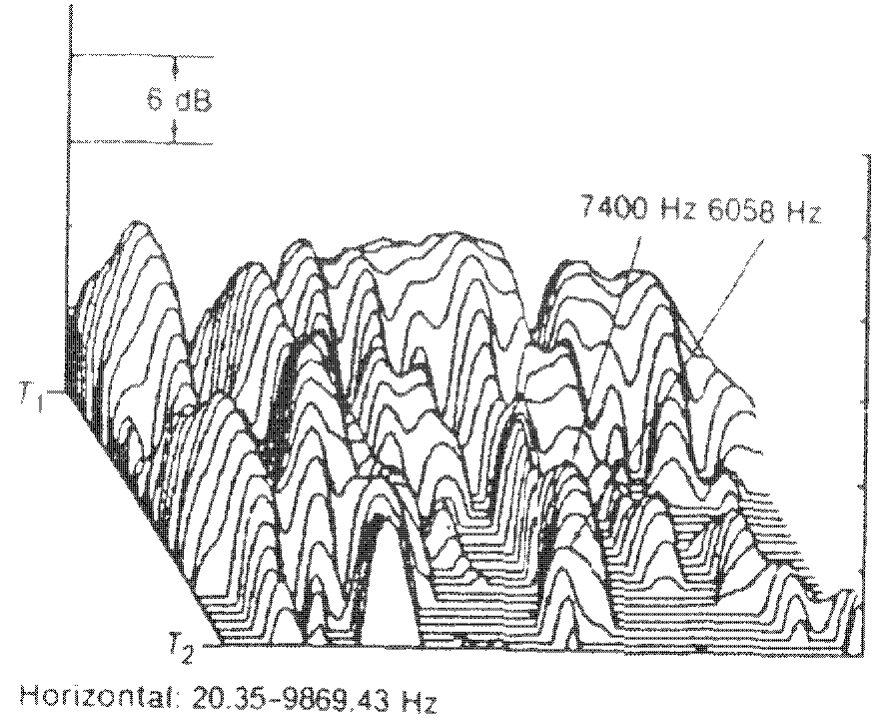
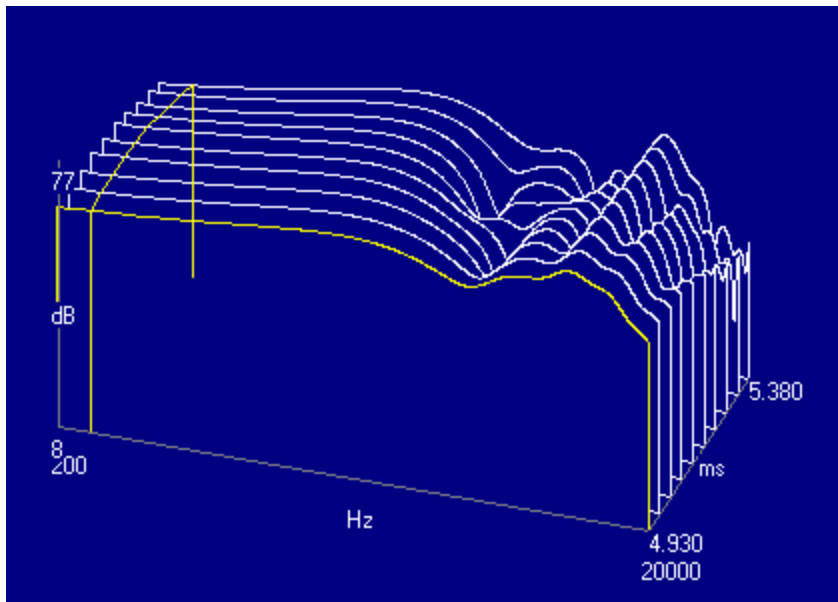




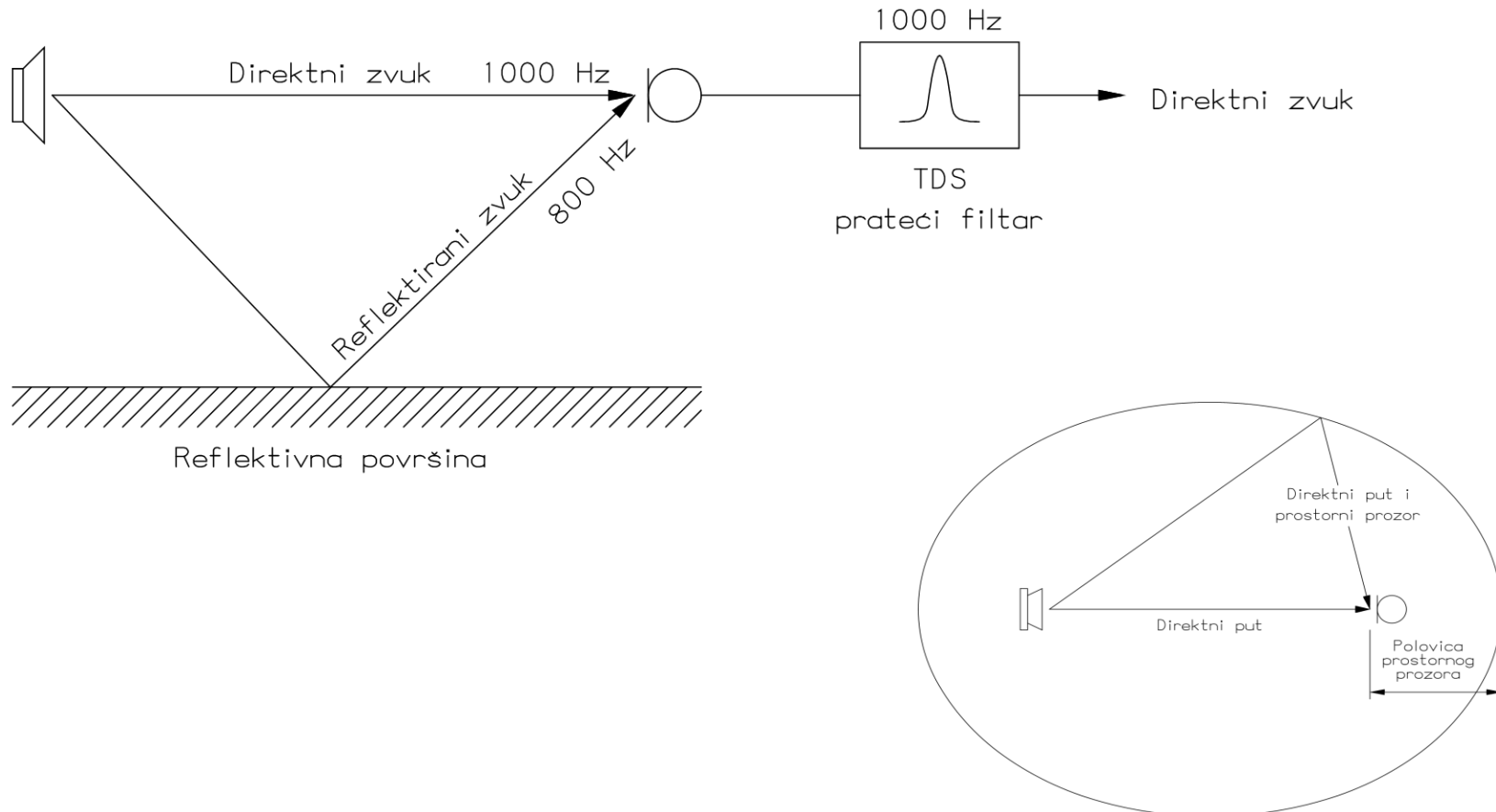
## ⇒ TEF mjerna metoda



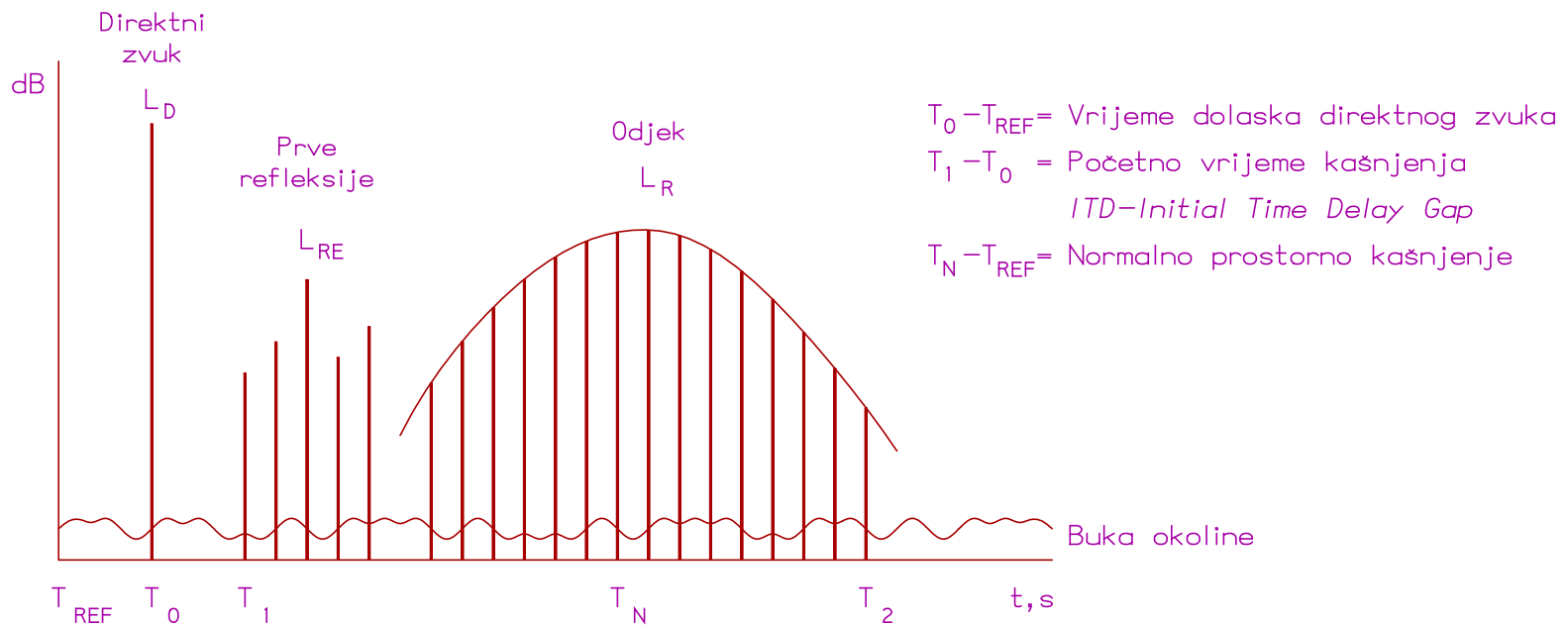
⇒ 3D TDS



## ⇒ TDS mjerenja



## ⇒ Vremenski prikaz prijema zvuka u jednoj točki



---

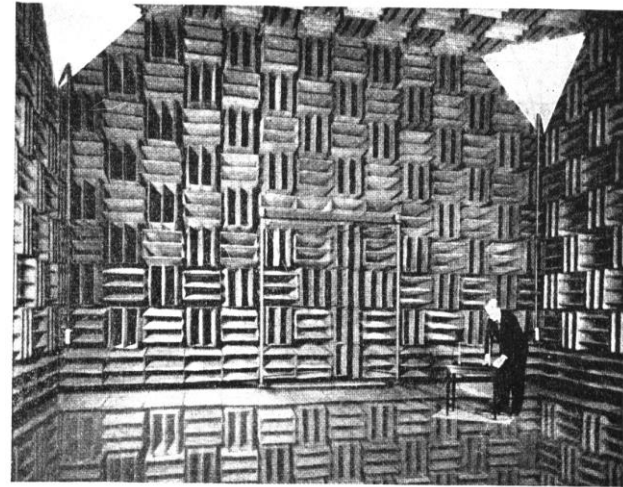
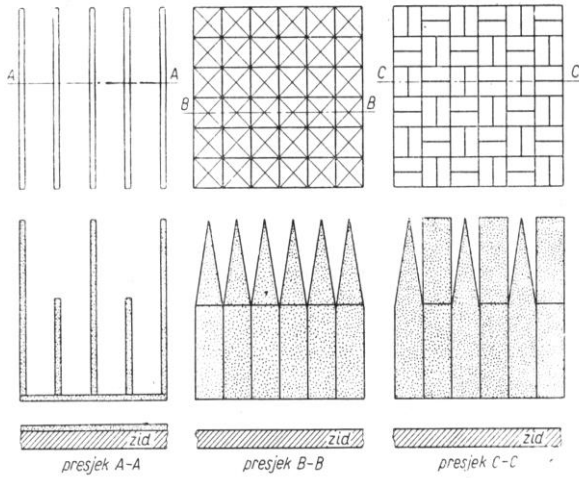
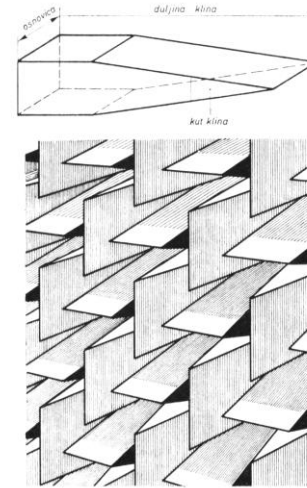
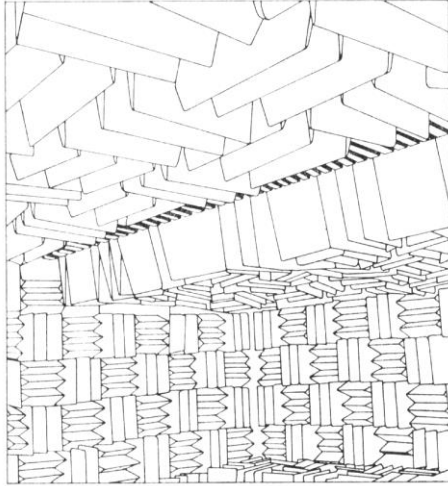
⇒ Akustički mjerni prostori

⇒ gluha komora

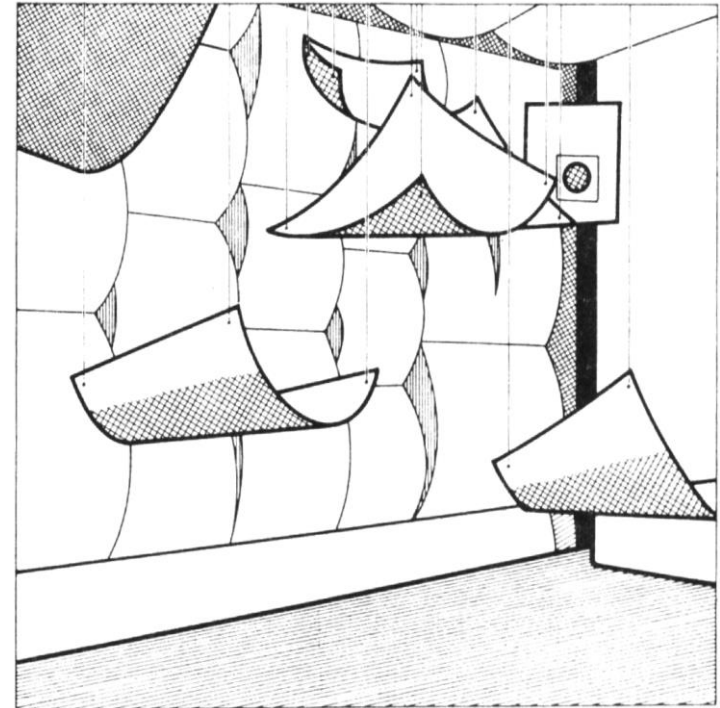
⇒ odječna komora

⇒ realni prostor

- ⇒ Gluha komora
  
- ⇒ simuliranje otvorenog prostora (slobodnog zvučnog polja)
- ⇒ malo vrijeme odjeka:
  - ⇒ oblaganje svih površina apsorpcionim materijalom
  - ⇒ klinovi
- ⇒ dimenzija određuje graničnu frekvenciju
- ⇒ izoliranje od vanjske buke i vibracija
- ⇒ pogodna za sva mjerenja na pretvaračima



- ⇒ Odječna komora
- ⇒ postizanje “difuznog polja”
  - ⇒ zvučni tlak jednak na svim mjestima u prostoriji osim u neposrednoj blizini stijena
  - ⇒ mjerenje snage zvuka – jednim mjerenjem zvučnog tlaka
- ⇒ veliko vrijeme odjeka
  - ⇒ reflektivne površine
    - ⇒ savijene ploče od pleksi-stakla
- ⇒ mjerenje apsorpcije materijala

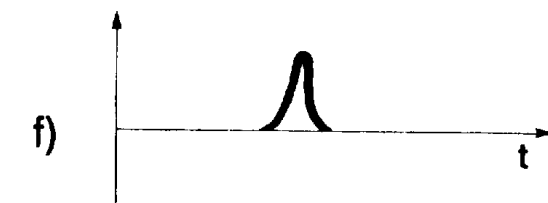
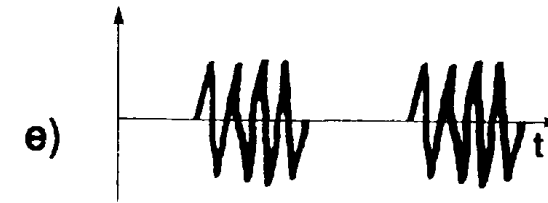
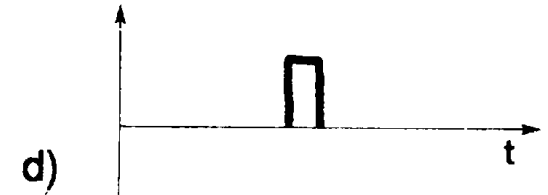
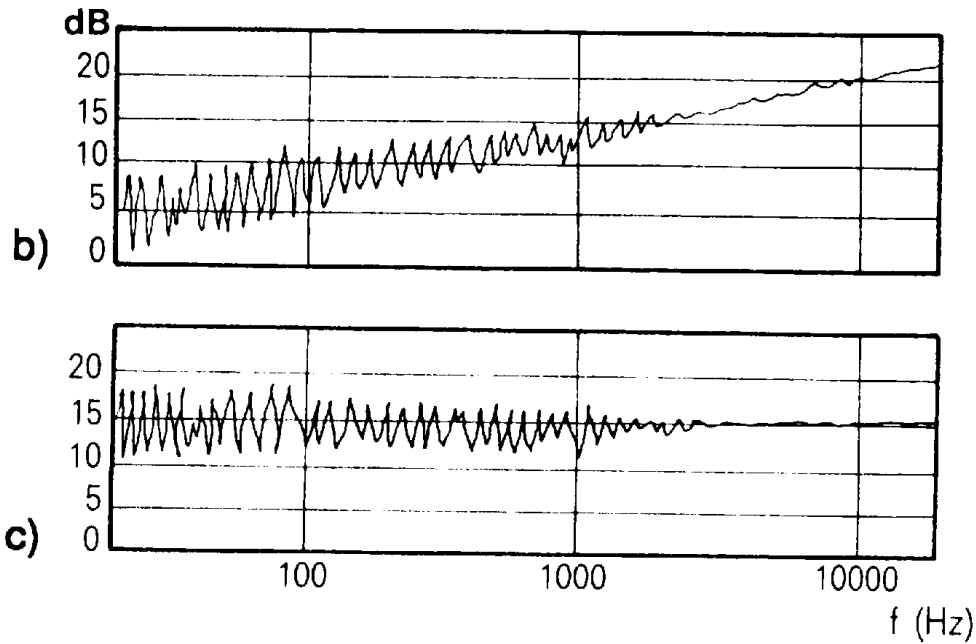
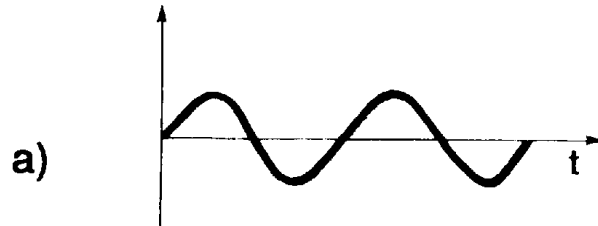




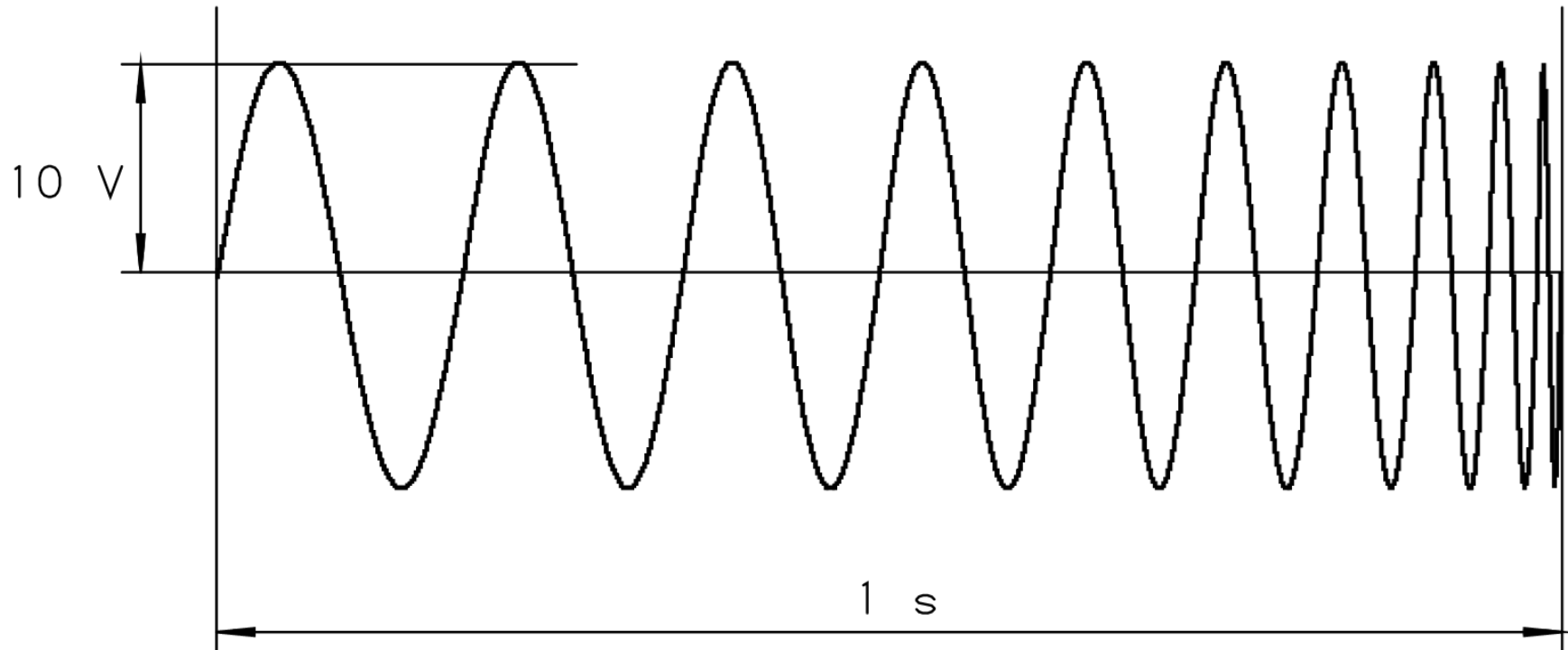
- ⇒ Realni prostor – standardna soba
- ⇒ vrijeme odjeka 1-2 s
- ⇒ normalna razina vanjske buke (40-50dB)

- ⇒ Akustički mjerni signali
  
- ⇒ sinusni ton – stacionarna mjerenja
- ⇒ impulsni ton (burst)- mjerenje tranzijentnih pojava
- ⇒ impulsni signal i pravokutni impulsi
- ⇒ šum i prasak: bijeli šum, ružičasti šum
- ⇒ sinusni ton kontinuirano promjenjive frekvencije (“sweep”)
- ⇒ MLS sekvenca

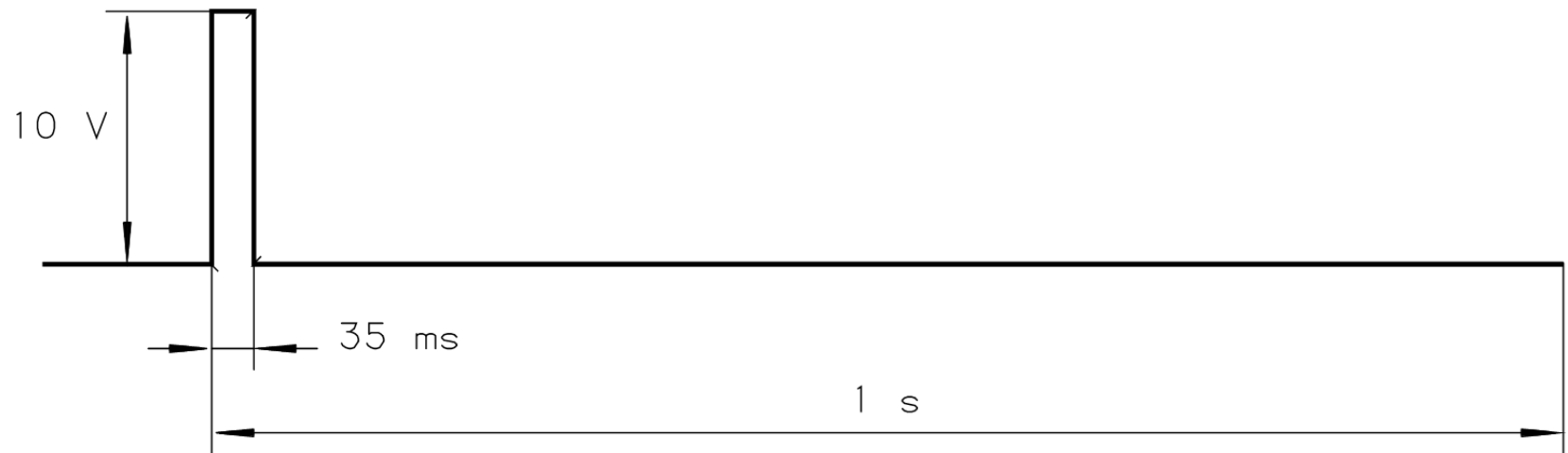
## ⇒ Signali



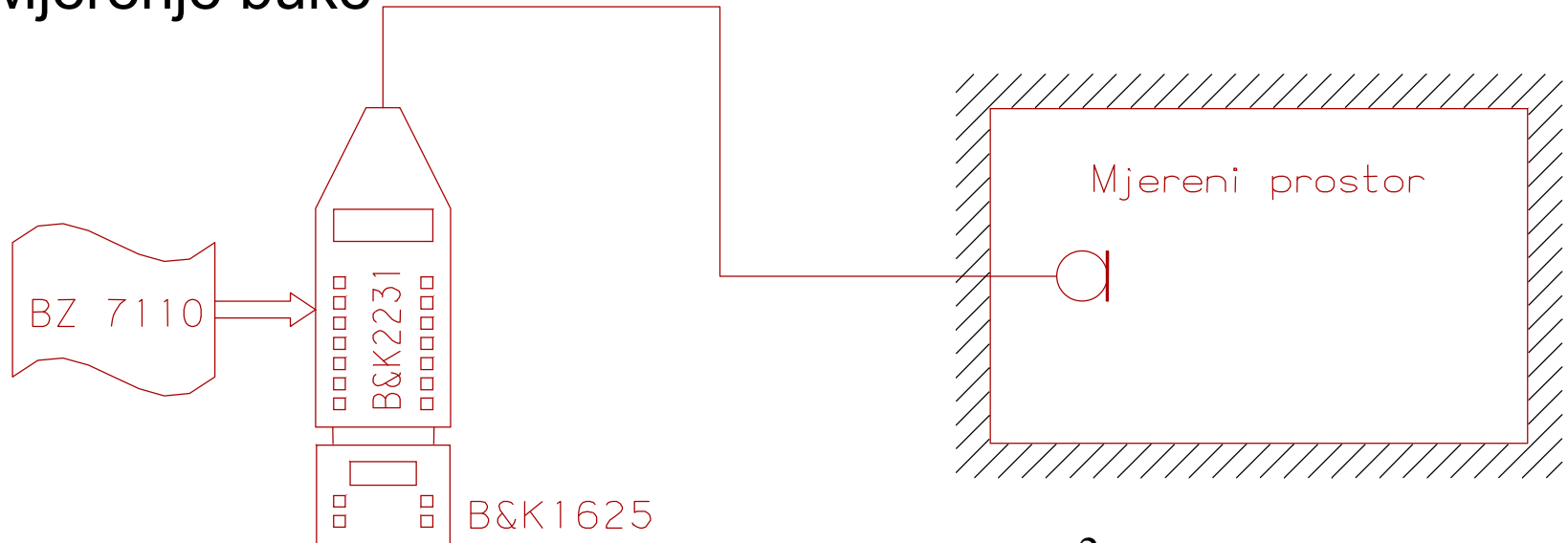
⇒ Sinusni ton kontinuirano promjenjive frekvencije



⇒ Impulsni signal



⇒ Mjerenje buke



$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt$$

gdje je

$p_0$  – referentni zvučni tlak,  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ;

$p(t)$  – vremenski promjenljiv zvučni tlak;

$T$  – interval mjerenja.

⇒ Parametri akustičke kakvoće prostora

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Vrijeme odjeka Reverberation Time	$T_R$	Odječnost (reverberance), živost (liveness)
Vrijeme ranog opadanja Early Decay Time	EDT	Odječnost (reverberance), živost (liveness)
Konstanta prostorje Room Constant	R	Glasnoća (Loudness)

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Polumjer dvorane, udaljenost difuznog polja Hall Radius, Diffused Field Distance	$r_H$	
Jasnoća Clarity, Clearness, Distinctness	$C_{50}$ , $C_{80}$	Jasnoća glazbe (Music Clarity, Svjetlina (Blend))
Srednje vrijeme Center Time	$t_s$	Jasnoća glazbe (Music Clarity, Svjetlina (Blend))



Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Definiranost Definition, Deutlichkeit, Distinctness Coefficient	$D_{50}$	Razumljivost govora (Speech Intelligibility), Definiranost zvuka (Sound Definition)
Odnos reflektirane i direktne zvučne energije Reverberant-to-Early Sound Ratio, Running Liveness	R	Odječnost (reverberance), živost (liveness)

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Podrška Support	$ST_{100}$ , $ST_{200}$ , $ST_{300}$	Dojam podrške (Impression of Support), Ugodnost ansambla (Ease of Ensemble)
Relativna razina ili indeks snage Relative Level, Strenght Index	G	Glasnoća (Loudness)

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Boja zvuka Tonal Color, Timbre	EDT(f)	Boja zvuka (Tone Color), Spektralna ujednačenost, ravnotežje (Balance), Timbar, vrsta (boja) tona (Timbre), Niske frekvencije, basevi (Bass), Toplina, (Warmth), Ravnotežje visokih frekvencija (Treble Balance)

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Povremena difuznost Temporal Diffusion	$\Delta$	Povremena difuznost (Temporal Diffusion), Detekcija flater jeke (Flutter Echo Detection)
Vrednovani odnos signal/šum Weighted Signal-to Noise Ratio, Weighted Ratio	$\text{SNR}_{95}$	Razumljivost govora (Speech Intelligibility)

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Gubitak artikulacije konzonanata Articulation Loss of Consonant	ALcons	Razumljivost govora (Speech Intelligibility)
Indeks prijenosa govora Speech Transmission Index	STI	Razumljivost govora (Speech Intelligibility)
Brzi indeks prijenosa govora Rapid Speech Transmission Index	RASTI	Razumljivost govora (Speech Intelligibility)

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Omjer korisnog i štetnog zvuka Useful-to-Detrimental Sound Ratio	$U_{50}$ , $U_{80}$	Razumljivost govora (Speech Intelligibility)
Frakcija lateralne energije Lateral Energy Fraction	LEF, $LEF_5$	Prostornost (Spaciousness), Dojam prostora (Spatial Impression), (Envelopment)

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Interauralni koeficijent križne korelacije Inter-Aural Cross- Correlation Coefficient	IACC	Prostornost (Spaciousness), Prividna širina izvora (Apparnet Source Width), Subjektivna difuzija (Subjective Diffusion)
Indeks usmjerenosti difuzije Directional Diffusion Index	⊕	usmjerenost difuzije (Directional Diffusion).

Objektivni parametar Strani naziv	Oznaka	Utjecaj na subjektivne parametre
Vrijeme početnog kašnjenja Initial Time Delay Gap	ITD	Prostornost (Spaciousness)

⇒ Osim navedenih objektivnih i subjektivnih parametara akustičke kvalitete postoji niz parametara i kriterija za ocjenu akustičke kvalitete i tumačenje navedenih parametara prema raznim autorima.



- ⇒ Navedeni objektivni akustički parametri imaju utvrđene preporučene vrijednosti i definiranu vezu sa subjektivnim parametrima akustičke kvalitete.
- ⇒ Može se uočiti višestruka povezanost više objektivnih parametara akustičke kvalitete s više subjektivnih parametara akustičke kvalitete prostora.

⇒ Tako veliki broj definiranih i izvedenih subjektivnih parametara i preklapanje njihovih utjecaja na subjektivne parametre akustičke kvalitete prostora ukazuju na kompleksnost analize akustičke kvalitete prostora i potrebno znanje, iskustvo i razumijevanje prirode samih objektivnih parametara i njihovih veza sa subjektivnim parametrima pri vrednovanju akustičke kvalitete prostora.

## ⇒ Impulsni odziv sustava

- ⇒ Impulsni odziv daje osnovnu karakteristiku sustava
- ⇒ Uporabom impulsnog odziva, možemo dobiti:
  - ⇒ Anvelopu impulsnog odziva (Ili “energy time curve” - ETC),
  - ⇒ Krivulju kumulativnog opadanja spektra - Cumulative spectral decay curve (CSD),
  - ⇒ Krivulja opadanja energije i akustičke parametre prostorije - Energy decay curve and acoustical room parameters
  - ⇒ Modulacijska prijenosna funkcija - Speech modulation transfer function (MTF)
  - ⇒ Indeks prijenosa govora - Speech transmission index (STI and RASTI).

- ⇒ Prikaz rezultata impulsne mjerne metode svodi se na direktni prikaz zvučnog tlaka ili na prikaz kvadrata zvučnog tlaka.
- ⇒ Pri tome se više koristi prikaz kvadrata zvučnog tlaka, i to iz dva razloga. Prvo, subjektivna ocjena bolje je povezana s mjerenjima koji se odnose na zvučnu energiju nego na tlak, i drugo, kvadriranjem se važne refleksije bolje odvajaju od raspršenih kasnijih komponenti zvučnog tlaka.

## ⇒ Vrijeme odjeka

Odjek je opadanje jakosti zvuka (ili zvučnog tlaka) nakon što prestane djelovati izvor zvuka, prema eksponencijalnom zakonu:

$$I = I_0 e^{-kt} \quad (2.8)$$

gdje je:  $I_0$  početni intenzitet.

Ako u izraz (2.8) uvrstimo vrijednost koeficijenta  $k$ :

$$k = \frac{c A}{4V} \quad (2.9)$$

gdje je:  $c$  brzina zvuka, m

$A$ ..... ukupna apsorpcija,  $m^{-1}$

$V$ ..... volumen prostorije,  $m^3$

dobijemo izraz za opadanje zvučnog intenziteta nakon prestanka djelovanja izvora  $z$

$$I = I_0 e^{-\frac{cAt}{4V}} \quad (2.10)$$

Vrijeme odjeka definirano prema Sabineu<sup>1</sup> je ono vrijeme utišavanja za koje zvučni tlak u prostoriji padne za 60 dB u odnosu na vrijednost koju je imao kad je izvor zvuka prestao emitirati.

Ako tako definiranu vrijednost ( $I/I_0 = 10^{-6}$ ) uvrstimo u izraz (2.10) dolazimo do konačnog izraza za izračunavanje vremena odjeka:

$$T = \frac{kV}{A}$$

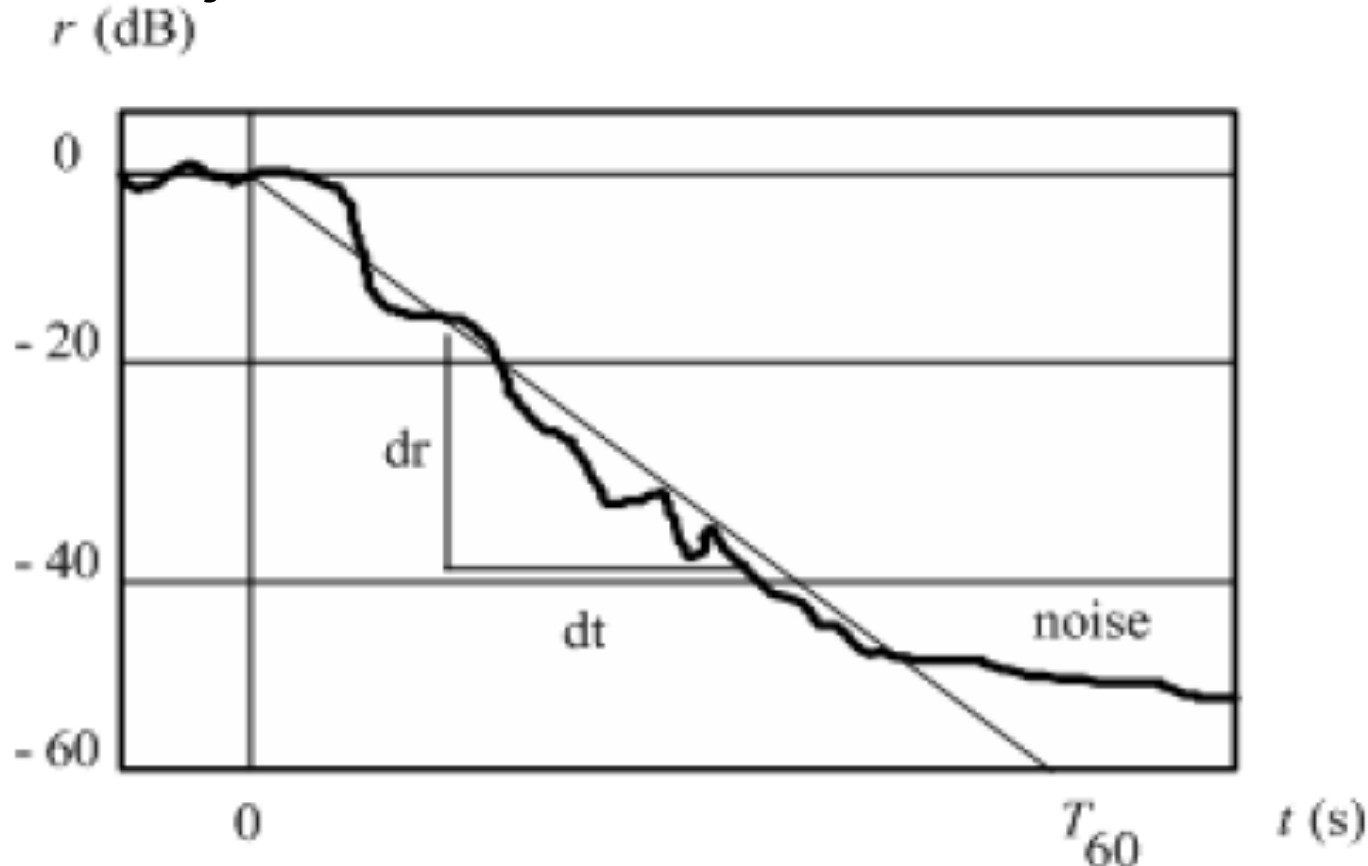
gdje je:  $V$       volumen prostorije,  $m^3$   
 $A$ ..... ukupna apsorpcija  
 $k = 0.161$

Ukupna apsorpcija  $A$  definirana je kao:

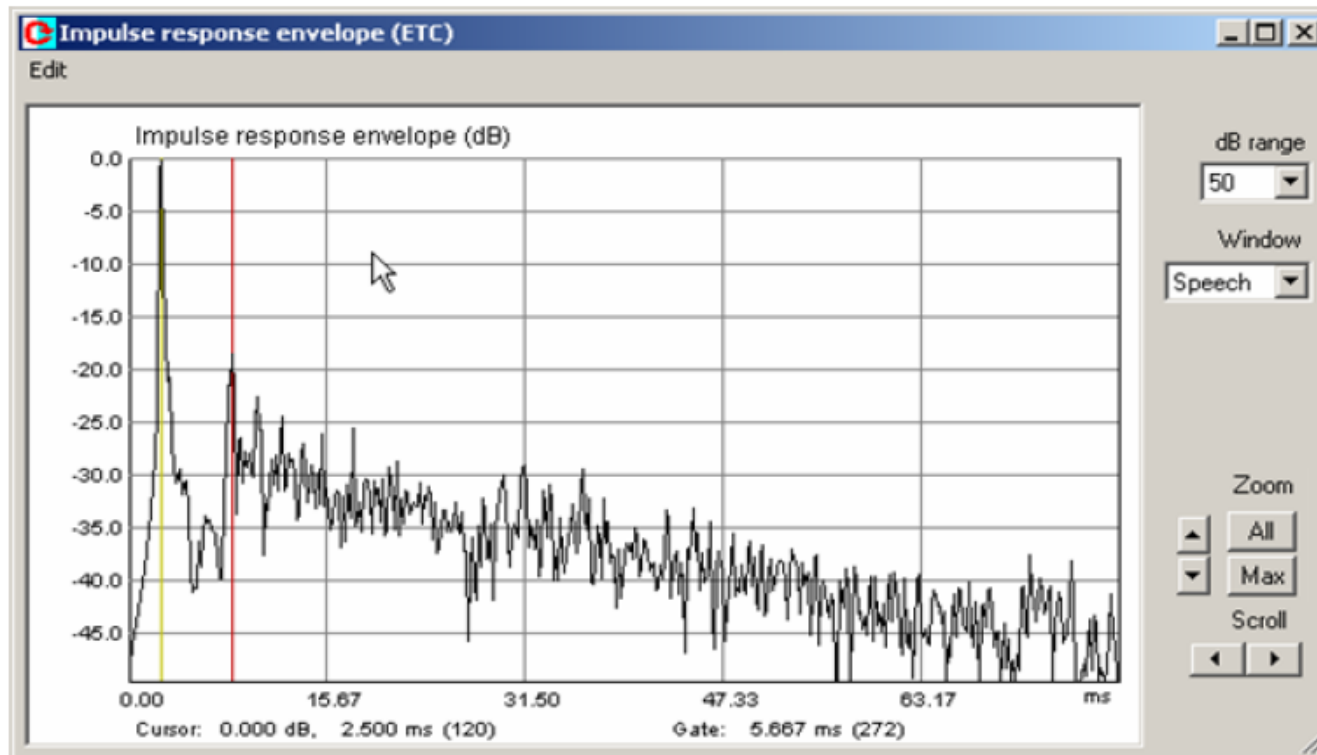
$$A = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \alpha_3 S_3 + \dots + \alpha_i S_i$$

gdje je:  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_i$       površine apsorpcijskih površina,  $m^2$   
 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_i$       koeficijenti odgovarajućih apsorpcijskih materijala

⇒ Opadanje zvučnog tlaka nakon prestanka djelovanja izvora zvuka



- ⇒ Energetsko-vremenski dijagram – ETC (Energy Time Curve)
- ⇒ Anvelopa impulsnog odziva



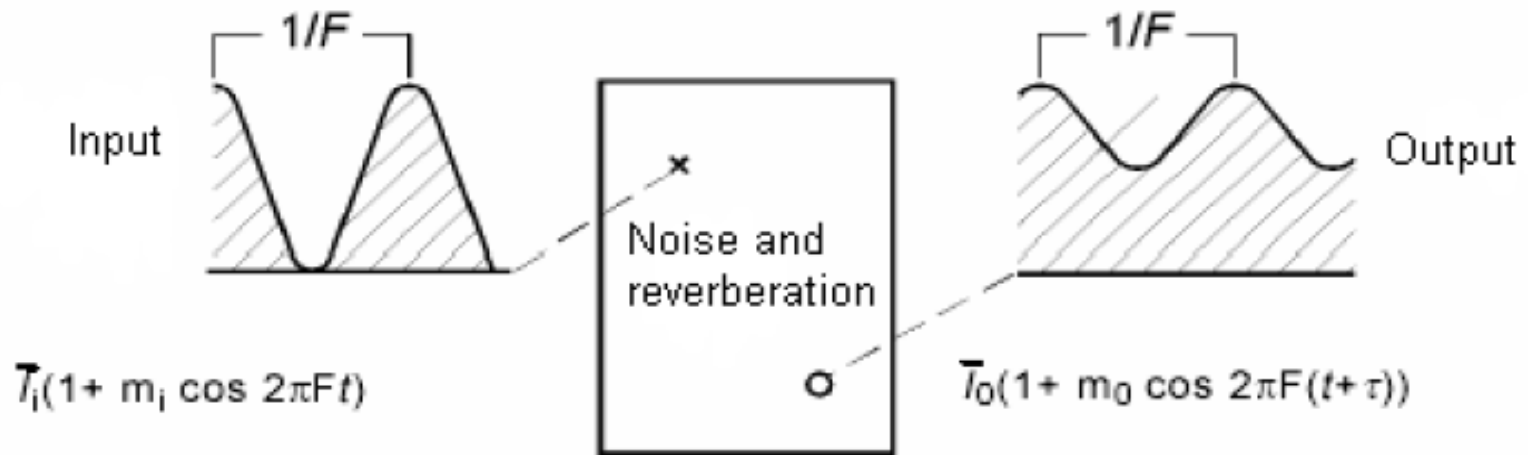


## Modulacijska prijenosna funkcija

Modulacijska prijenosna funkcija (*Modulation Transfer function - MFT*) uvedena je u akustici prostora kao mjera za određivanje efekta koji prostorija ima na razumljivost govora. Iz modulacijske prijenosne funkcije može se izračunati indeks prijenosa govora (*Speech Transmission Index - STI*).

Metoda za određivanje modulacijske prijenosne funkcije zasniva se na razlici u valnom obliku zvuka između ulaznog signala (govor govornika) i izlaznog signala (prijem kod uha slušatelja). Ta razlika prouzročena je prijenosom govora u prostoriji čiji utjecajni faktori (buka, odjek i jeka) smanjuju dubinu modulacije korisnog signala, što uzrokuje zamucenje zvučne slike, odnosno smanjuje razumljivost.

⇒ Usljed utjecaja prostora dolazi do smanjenja dubine modulacije korisnog signala



MTF i indeks STI mogu se matematički izraziti iz projektnih specifikacija, tako da je procjena razumljivosti moguća još u fazi projektiranja auditorija. Za navedeni proračun potrebno je poznavati slijedeće podatke:

- $V$ ,  $m^3$  -volumen prostorije;
- $T$ , s -vrijeme odjeka prostorije na 1 kHz;
- $L_n$ , dBA -razina buke mjerena preko A krivulje na mjestu slušatelja;
- $L_{sp1m}$ , dBA -razina govornikovog glasa (efektivna vrijednost mjerena preko A krivulje, 1 m ispred govornika u uvjetima slobodnog zvučnog polja);
- $D$ , m -udaljenost govornik-slušatelj

STI ima vrijednost između 0 i 1.

STI	Equivalent subjective rating
$0,0 < STI < 0,3$	Bad
$0,3 < STI < 0,45$	Poor
$0,45 < STI < 0,6$	Fair
$0,6 < STI < 0,75$	Good
$0,75 < STI < 1,00$	Excellent

STI ima vrijednost između 0 i 1.

Radi brze procjene svojstava razumljivosti auditorija, razvijen je jednostavniji način proračuna kojim se izračunava tzv. brzi indeks prijenosa govora (*Rapid Speech Transmission Index - RASTI*). Pri izračunavanju indeksa RASTI analiza je smanjena na samo dva oktavna pojasa, s centralnim frekvencijama 500 Hz i 2 kHz, i na samo 4, odnosno 5 modulacijskih frekvencija za svaki oktavni pojas (sl. 2.23).

	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0.63							
0.80							
1.00							
1.25							
1.60							
2.00							
2.50							
3.15							
4.00							
5.00							
6.30							
8.00							
10.00							
12.50							

.Schema za dobivanje indeksa razumljivosti

# Gubitak artikulacije suglasnika

Gubitak artikulacije suglasnika (*Articulation Loss of Consonants* -  $AL_{cons}$ ) mjera je govorne razumljivosti koja se izražava u postocima. Prilikom izražavanja rezultata, veći postotak znači slabiju razumljivost. Veličina  $AL_{cons}$  u jednostavnom je odnosu prema akustici prostorija i odnosu signal/šum u njima, te se pokazuje pouzdanom mjerom prijenosa čujnih informacija.

Ispitivanja su pokazala da razumljivost govora u prostoriji pada s povećanjem udaljenosti od izvora sve dok se ne dosegne neka udaljenost  $D_k$ , iza koje je razumljivost konstantna i neovisna o udaljenosti od izvora do slušaoca  $D$ .

Za izračunavanje vrijednosti  $AL_{cons}$  izvedeni su slijedeći empirijski izrazi:

$$D_k = 0.2 \sqrt{V \cdot \frac{Q}{T}}$$

$$\text{za } D < D_k \quad AL_{cons} = \left( \frac{200 \cdot D^2 \cdot T^2}{V \cdot Q} + \alpha \right) \%$$

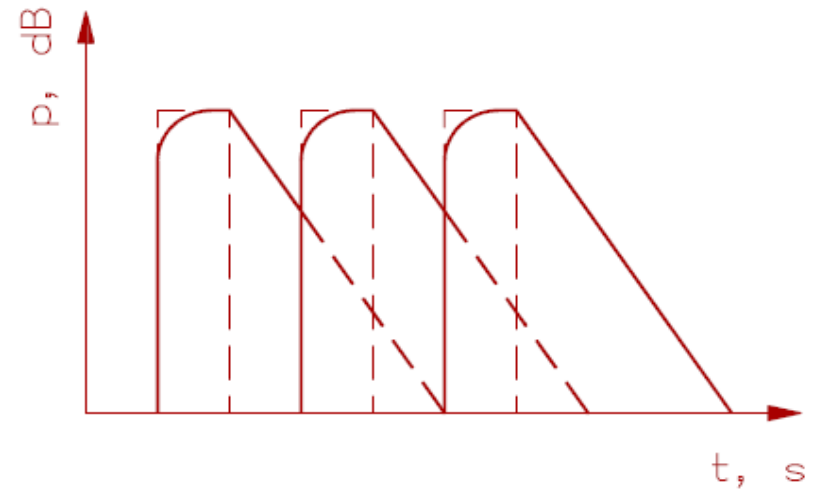
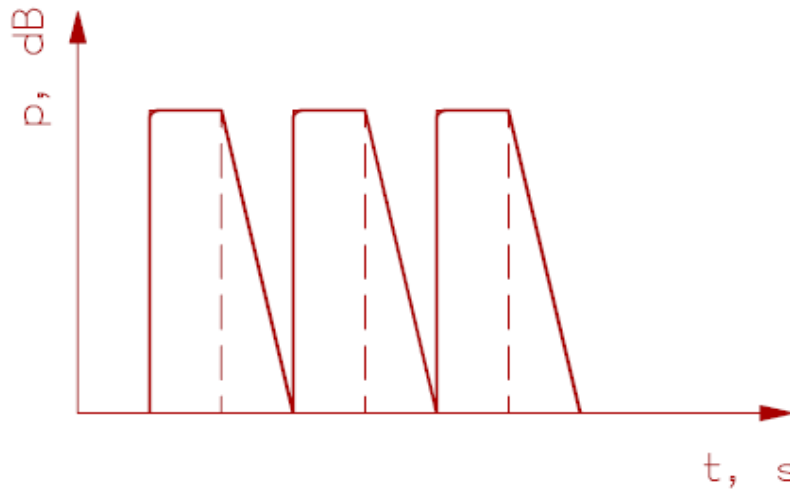
$$\text{za } D > D_k \quad AL_{cons} = (9T + \alpha) \%$$

gdje je:  $T$  vrijeme odjeka na 1.4 kHz, s  
 $V$  ..... volumen prostorije,  $m^3$   
 $D$  ..... udaljenost izvora zvuka od slušaoca, m  
 $\alpha$  ..... korekcija zbog psihološko-lingvističkih faktora  
 $Q$  ..... faktor usmjerenosti izvora zvuka (2.5 za govornika)



Frequency (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\alpha_{\text{male}}$	0.085	0.127	0.230	0.233	0.309	0.224	0.173
$\beta_{\text{male}}$	0.085	0.078	0.065	0.011	0.047	0.095	0
$\alpha_{\text{female}}$	0	0.117	0.223	0.216	0.328	0.250	0.194
$\beta_{\text{female}}$	0	0.099	0.066	0.062	0.025	0.076	0

Uz vrijednosti  $AL_{\text{cons}}$  do 10% razumljivost je vrlo dobra (idealna), uz vrijednosti 10% do 15% zadovoljavajuća je, a iznad 15% razumljivost nije dovoljna, pa se vrijednost  $AL_{\text{cons}} = 15\%$  uzima kao granična vrijednost.



.Utjecaj vremena odjeka na slogovnu razumljivost

- a) dobra razumljivost
- b) loša razumljivost

- 
- ⇒ Vrijeme ranog opadanja zvuka - EDT – Early decay time
    - ⇒ EDT je definiran kao vremenski interval potreban da zvučna energija padne za 10 dB nakon prestanka djelovanja izvora zvuka.
    - ⇒ Za direktunu usporedbu s vremenom odjeka, rezultat se množi sa faktorom 6.
    - ⇒ Za idealno eksponencijalno padanje u difuznom polju, očekivana vrijednost EDT odgovara vrijednosti vremena odjeka

## ⇒ Jasnoća (Clarity)

⇒ Jasnoća ili “indeks odnosa rane i kasne refleksije”  $C_{80}$  ( $C_{50}$ ) je definiran kao logaritamski odnos impulsnog odziva prije vremena  $t$  i energije nakon tog trenutka.

⇒ Vrijednost vremena  $t=50\text{ms}$  se uzima kod izražavanja jasnoće govora, dok vrijednost  $t=80\text{ms}$  više odgovara za glazbu.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80\text{ms}} h^2(t) dt}{\int_{80\text{ms}}^{\infty} h^2(t) dt} \quad \text{dB}$$

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50\text{ms}} h^2(t) dt}{\int_{50\text{ms}}^{\infty} h^2(t) dt} \quad \text{dB}$$

## ⇒ Definicija (Definition)

⇒ Definicija D50 ili odnos rane prema ukupnoj energiji, je mjera za definiciju govora, i definira se kao:

$$D_{50} = 100 \frac{\int_0^{50ms} h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} \quad (\%)$$

---

## ⇒ ARTA

- ⇒ programska podrška za audio mjerenja (Program for Impulse Response Measurement and Real Time Analysis of Spectrum and Frequency Response); Audio Real-Time Analysis
  
- ⇒ Prof.dr.sc. Ivo Mateljan, Electroacoustics Laboratory Faculty of electrical engineering R. Boskovicica bb. 21000 Split, Croatia

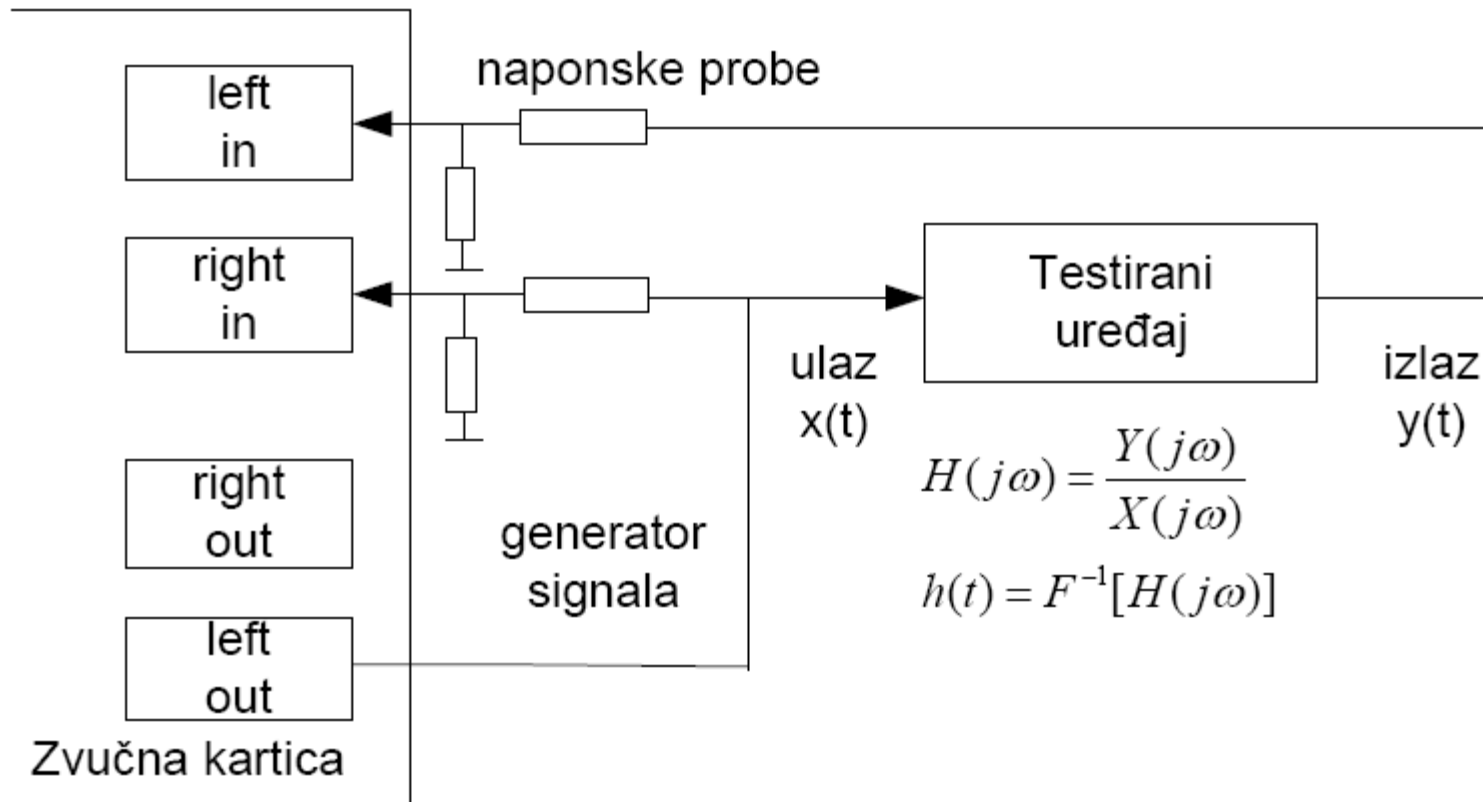
- ⇒ sastoji se od četiri programa
  - ⇒ ARTA – program za mjerenje i analizu spektra i frekvencijskog i impulsnog odziva u realnom vremenu. Podržava većinu funkcija Fourierovog analizatora i MLSSA (maximum length sequence system analyser') uređaja.
  - ⇒ STEPS – program za heterodinsko mjerenje frekvencijskog odziva i izobličenja sinusnim signalom.
  - ⇒ LIMP – program za mjerenje impedancije.
  - ⇒ WAVE ANALYZER – program za analizu zvučnih datoteka i za procjenu perceptualne kvalitete kodiranja audio i govornog signala s pomoću ITU\_T metoda.



## ⇒ Komponente mjernog sustava

- ⇒ Osobno računalo (Pentium 1GHz , Windows)
- ⇒ Zvučna kartica
- ⇒ Mjerna preklopna kutija i kabeli (ARTA box).
- ⇒ Mjerna programska podrška: ARTA
- ⇒ Mikrofon s pretpojačalom
- ⇒ Kalibrator mikrofona
- ⇒ Pojačalo snage
- ⇒ Zvučnici (neusmjereni izvor za mjerenje odjeka i mali zvučnik za mjerenje razumljivosti)

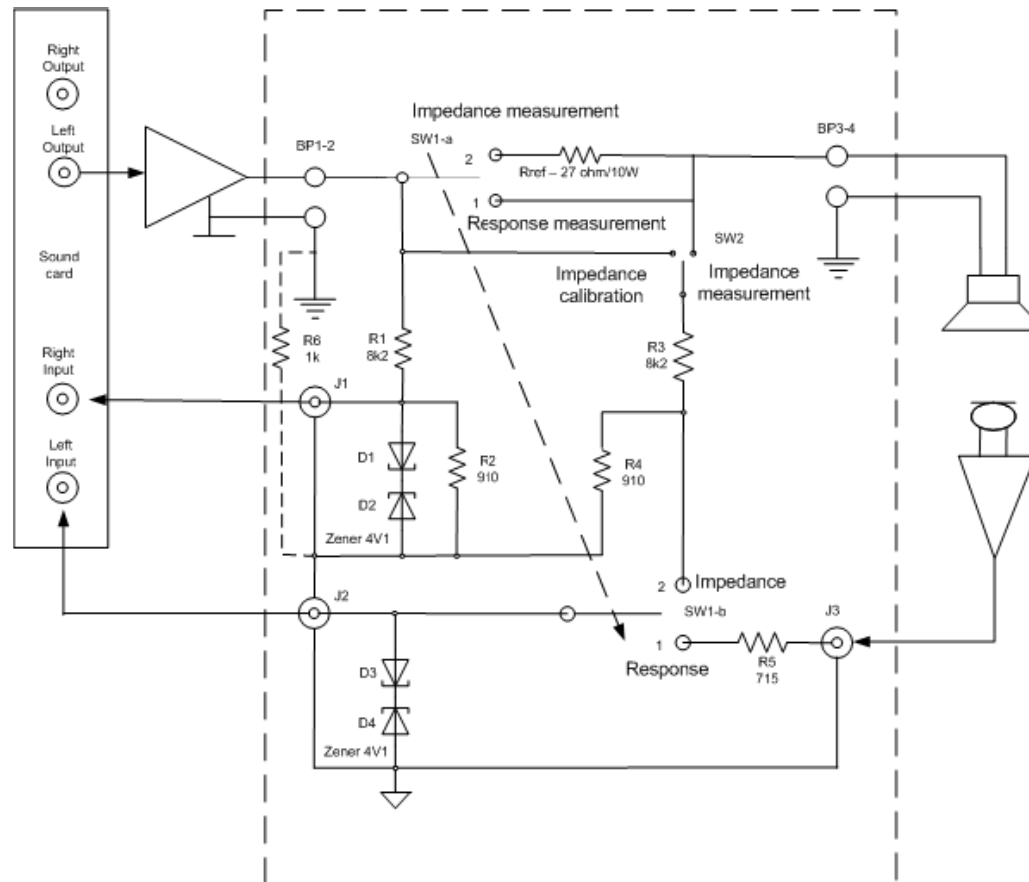
## ⇒ Općenita mjerna postava



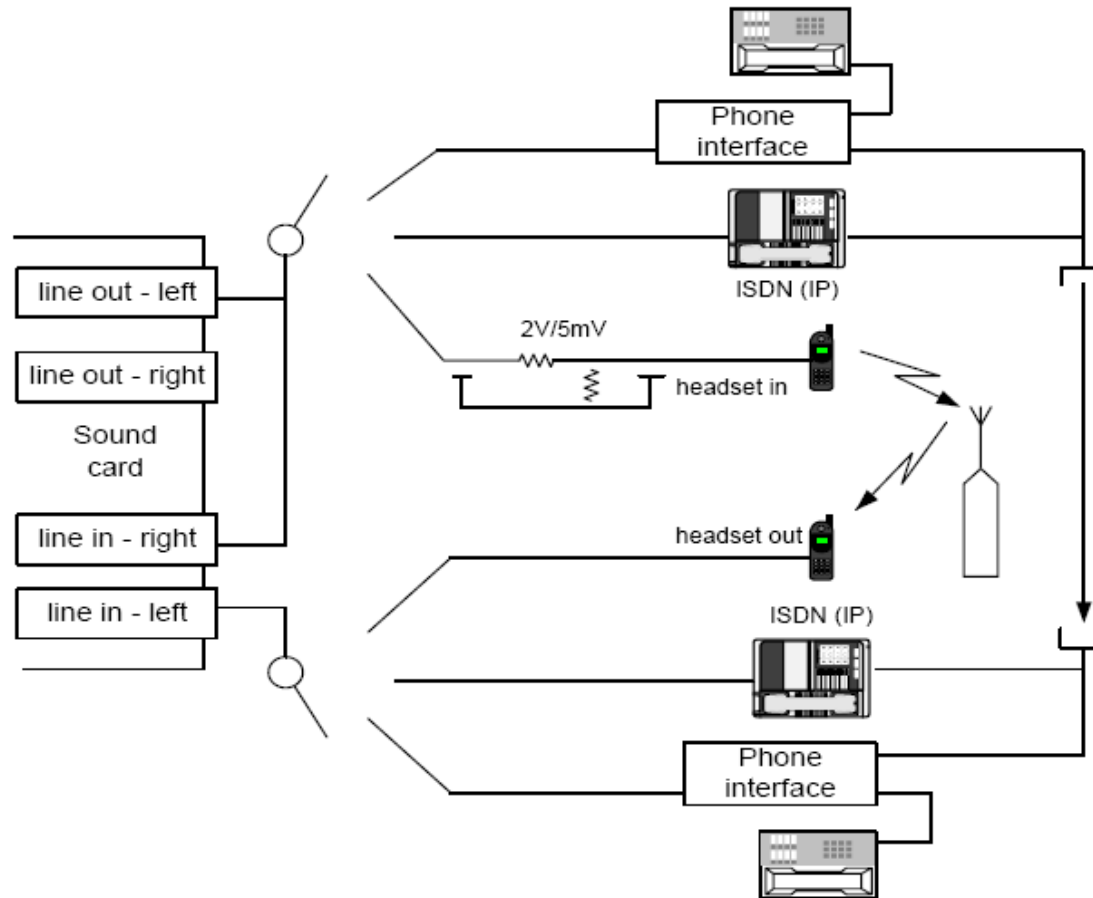
⇒ Preklopna kutija s zaštitom audio ulaza zvučne kartice (izvedba s vanjskim mikrofonskim pretpojačalom)



## ⇒ Principijelna shema mjerenja

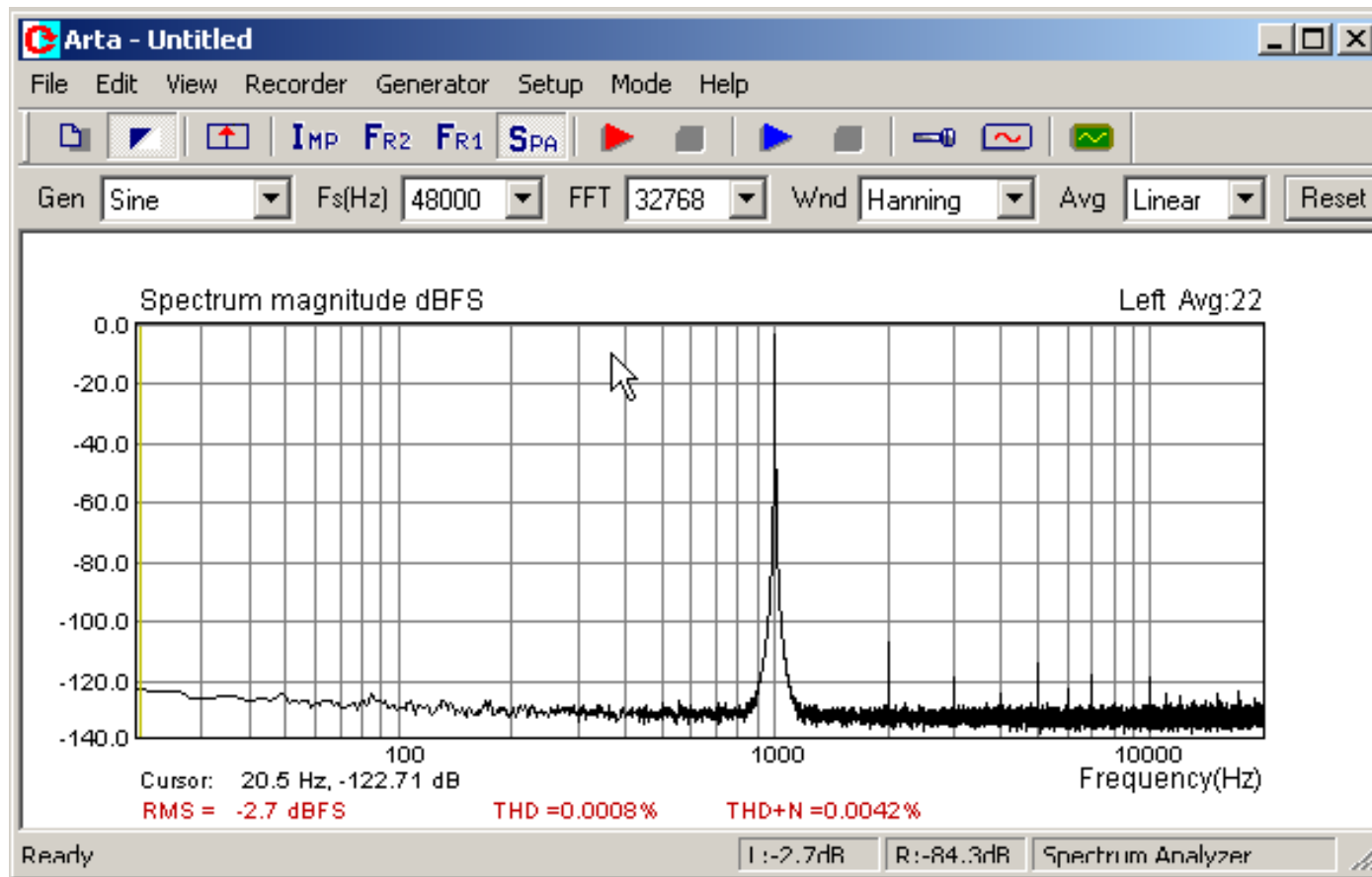


## ⇒ “Point-to-point” testiranje telefonskog sustava

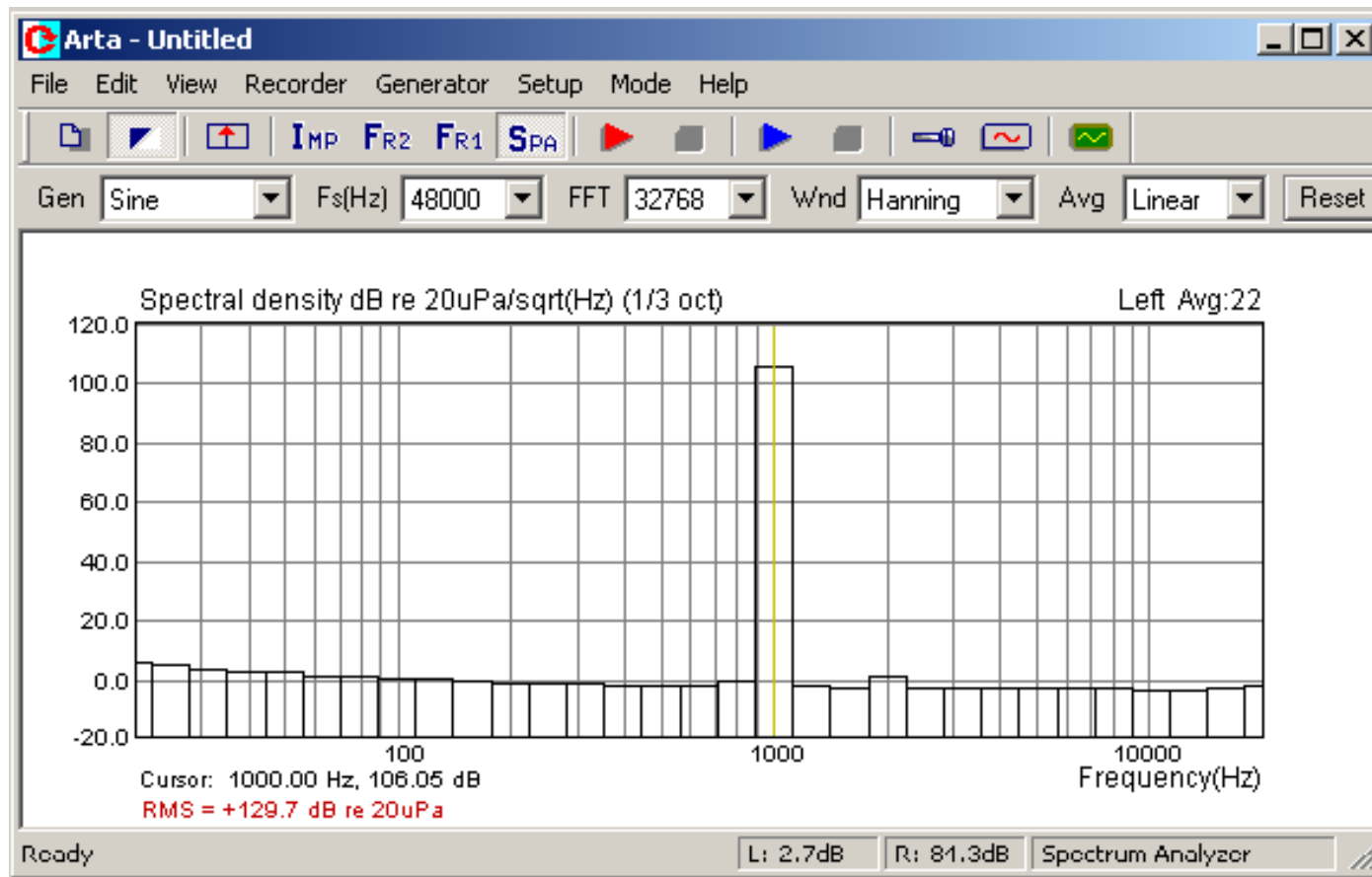


- ⇒ ARTA podržava četiri tipa mjerenja:
  - ⇒ Spektralna analiza i mjerenje izobličenja (Spa prozor)
  - ⇒ Dvokanalni Fourier-ov analizator (Fr2 prozor)
  - ⇒ Jednokanalni Fourier-ov analizator (Fr1 prozor)
  - ⇒ Mjerenje impulsnog odziva (Pir prozor)
  - ⇒ Procesiranje impulsnog odziva, ARTA daje:
    - ⇒ “Gated” frekvencijski odziv, skokomični odziv, krivulju opadanja energije, ETC, cumulative spectral decay, burst decay, vrijeme odjeka, STI, T30, C80, C50, EDT
- ⇒ ARTA podržava generiranje sljedećih signala:
  - ⇒ bijeli šum, ružičasti šum, periodički bijeli šum, periodički ružičasti šum,
  - ⇒ periodički govorni šum, sinus, multitone, klizajući sinus, MLS
  - ⇒ ITU\_T P.501 kompozitni signal za testiranje telefonije

## ⇒ ARTA – Prozor spektralne analize i izobličenja

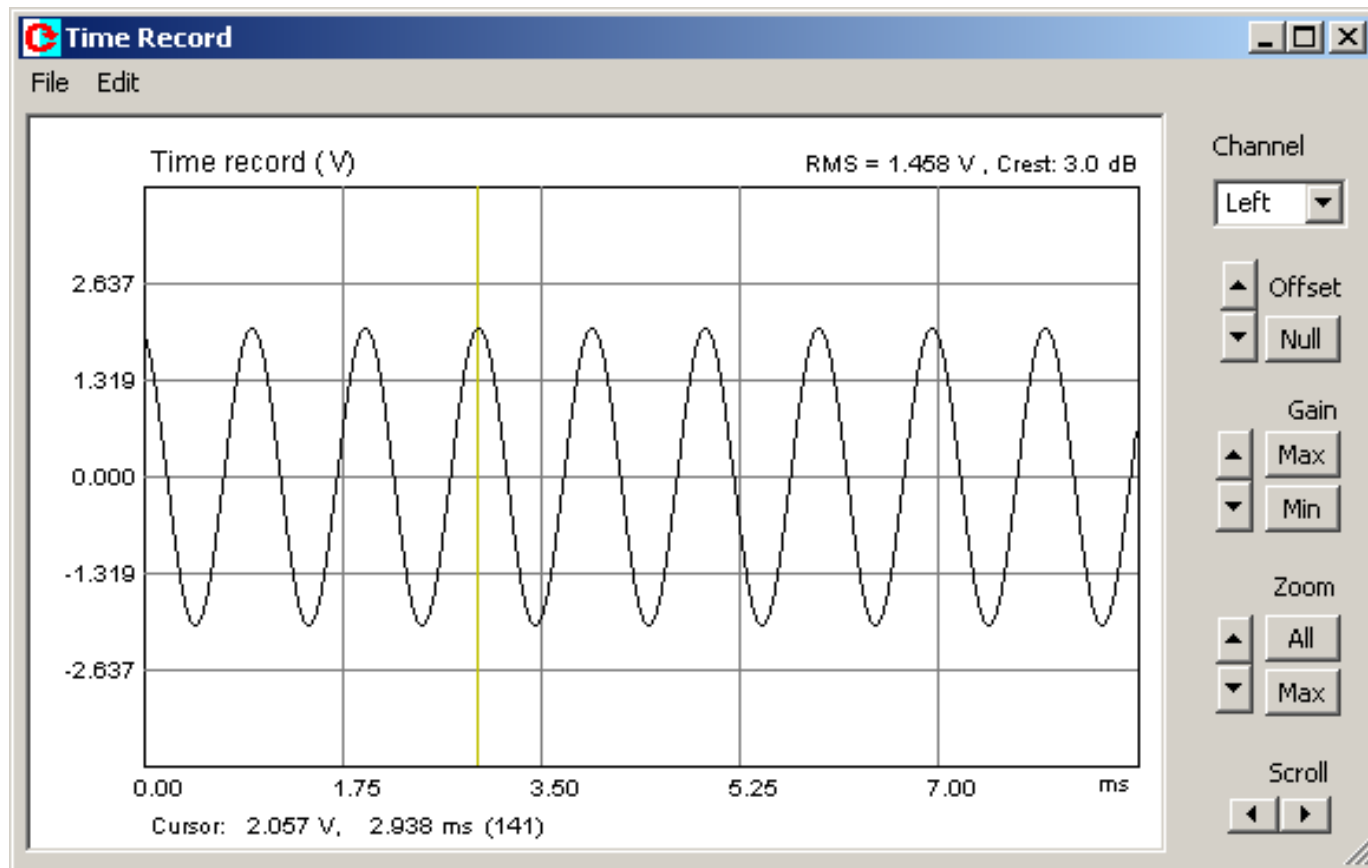


## ⇒ ARTA - 1/n-oktave pojasna analiza





## ⇒ ARTA – Prozor vremenskog zapisa



## ⇒ kalibracija zvučne kartice i mikrofona

### Calibrate Soundcard and Microphone ✕

**Soundcard full scale output (mV)**

1. Connect electronic voltmeter or scope on left output channel (set range to 2V)

2.

Output level

3. Enter voltmeter (scope) value

4.

Estimated	Current
<input type="text" value="2900"/>	<input type="text" value="2900"/> mV

**Soundcard full scale input (mV)**

1. Connect sine generator with known output voltage on

Channel

2. Enter voltage (peak or rms)

3.

	Estimated	Current	
Left	<input type="text" value="2800"/>	<input type="text" value="2800"/>	mV
Right	<input type="text" value="2800"/>	<input type="text" value="2800"/>	mV
Diff	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	dB

**Microphone sensitivity (mV/Pa)**

1. Connect microphone on

Channel

Preamp gain

2. Attach sound calibrator

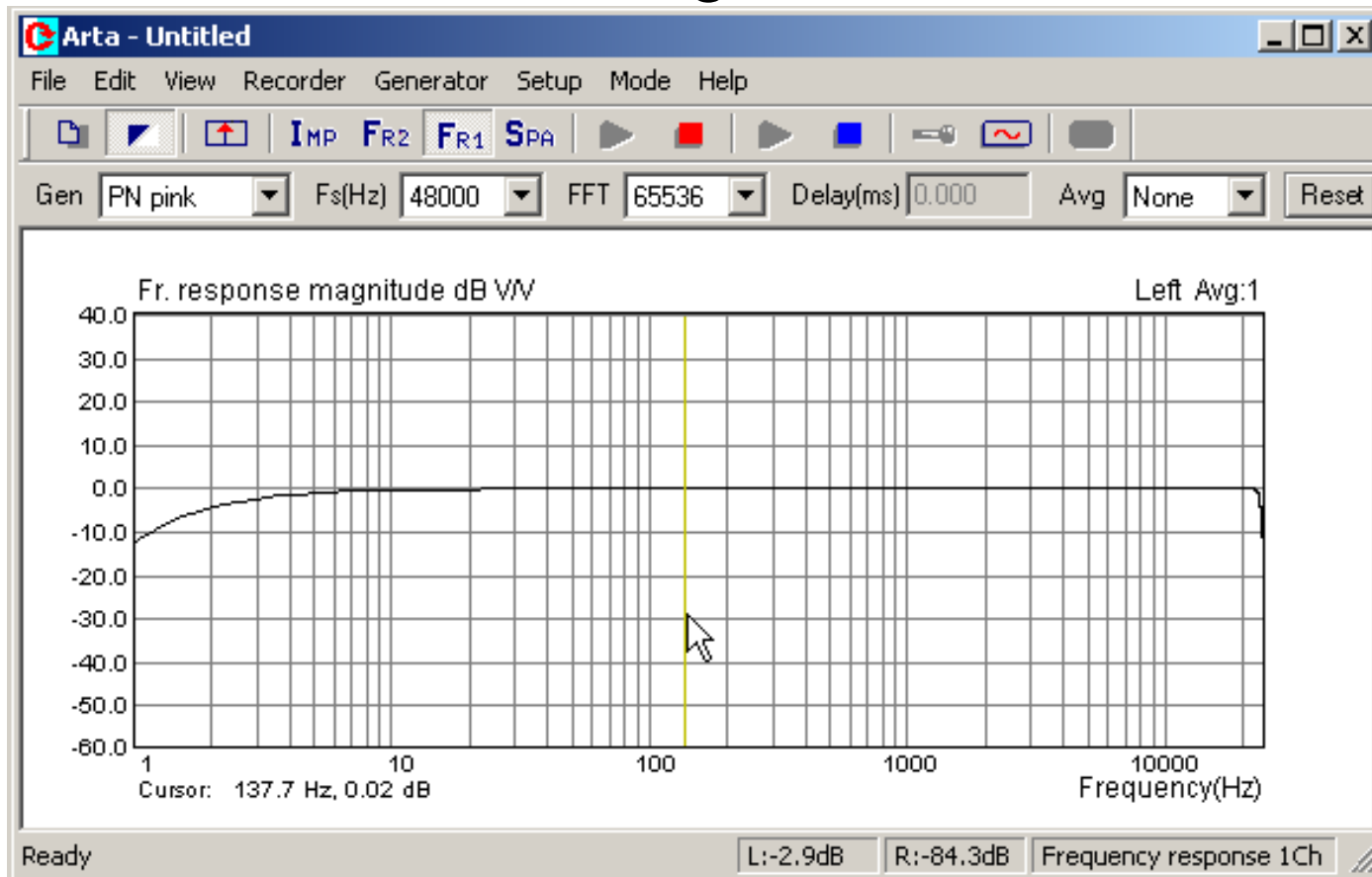
Pressure  dB

3.

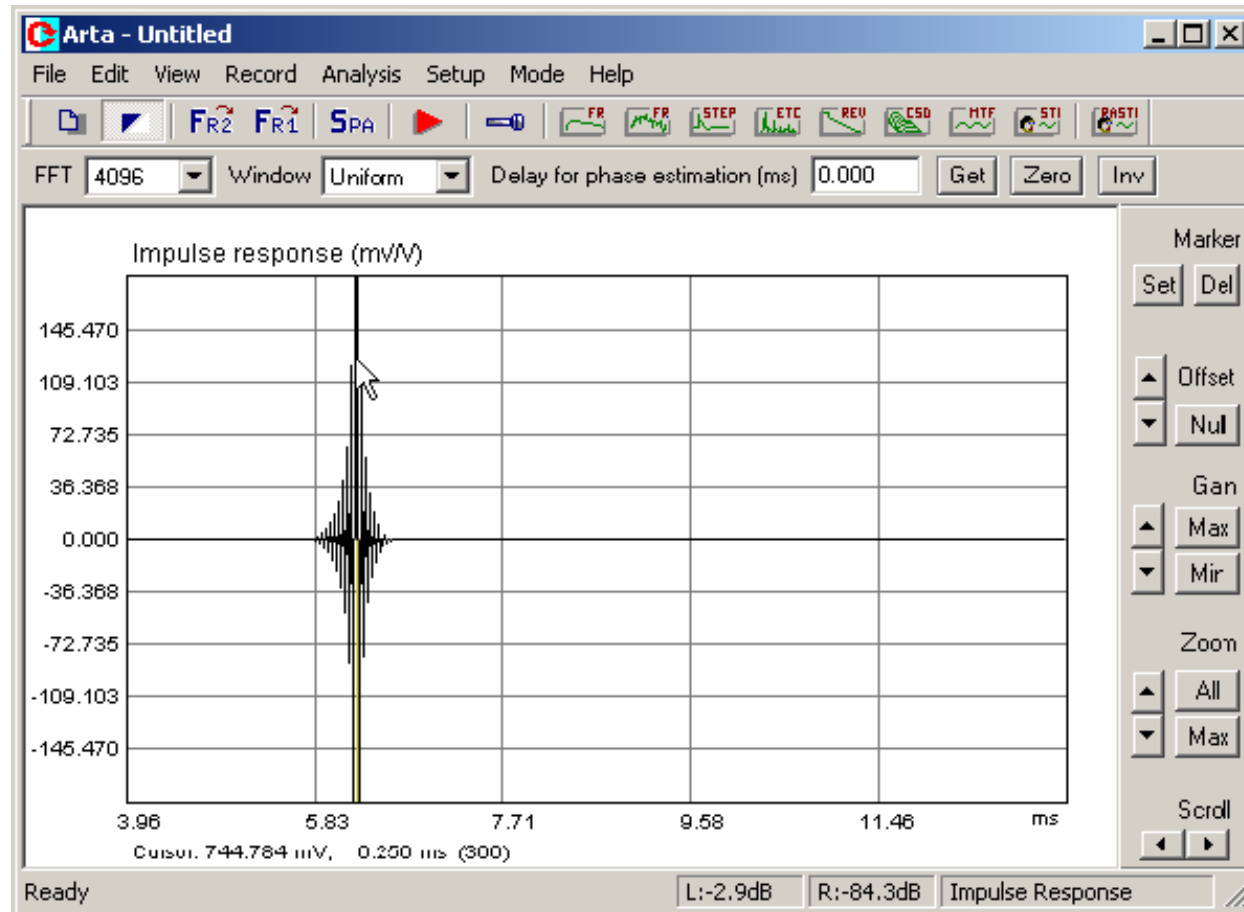
Estimated	Current
<input type="text" value="18.2245"/>	<input type="text" value="18.2245"/> mV/Pa

L		-70		-50		-30		-10	dB
R		-80		-60		-40		-20	dB

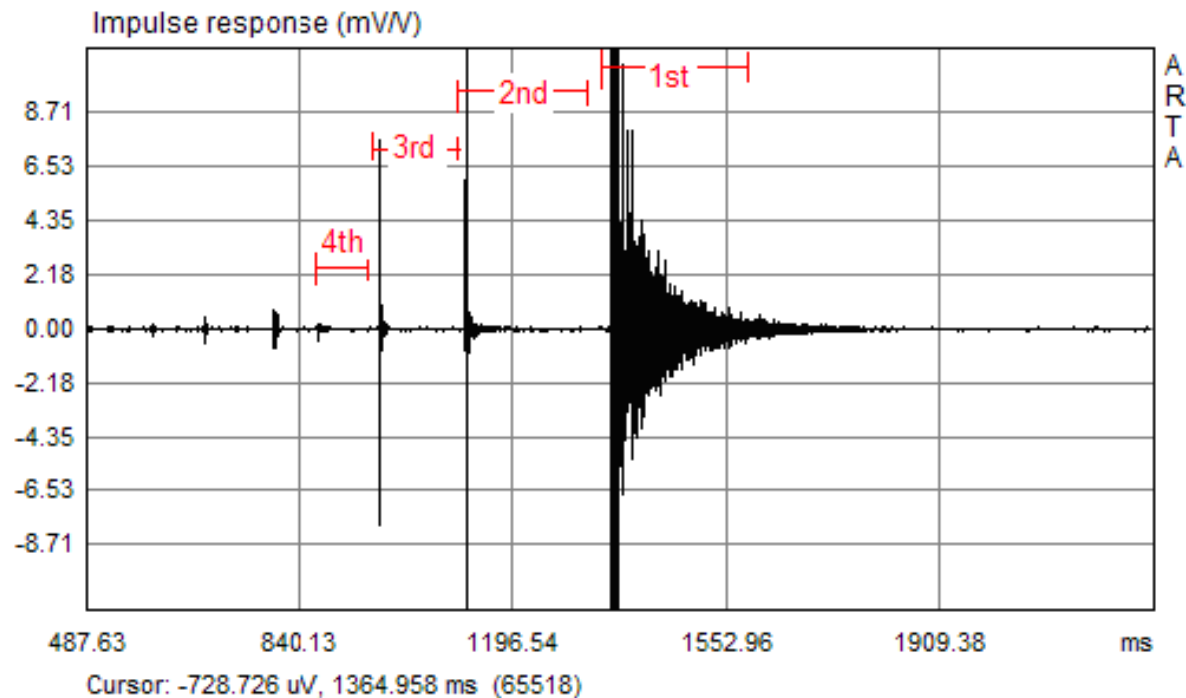
⇒ prozor mjerenja frekvencijskog odziva u realnom vremenu-magnituda, faza i koherencija



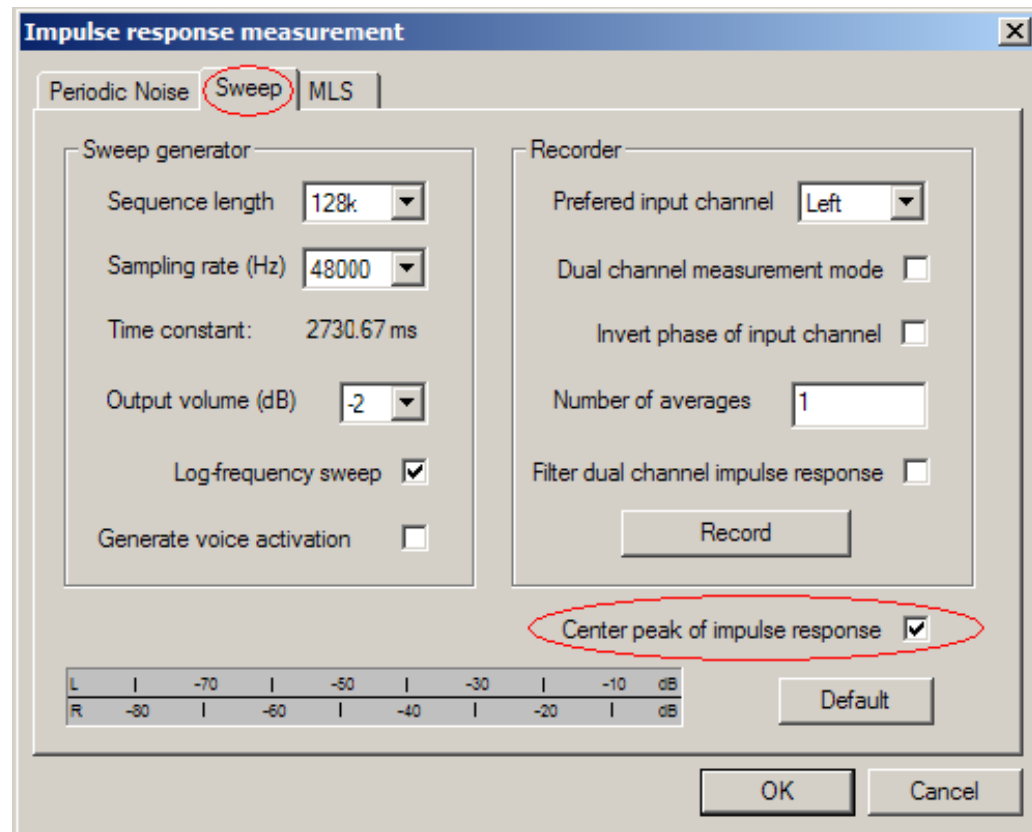
## ⇒ prozor impulsnog odziva



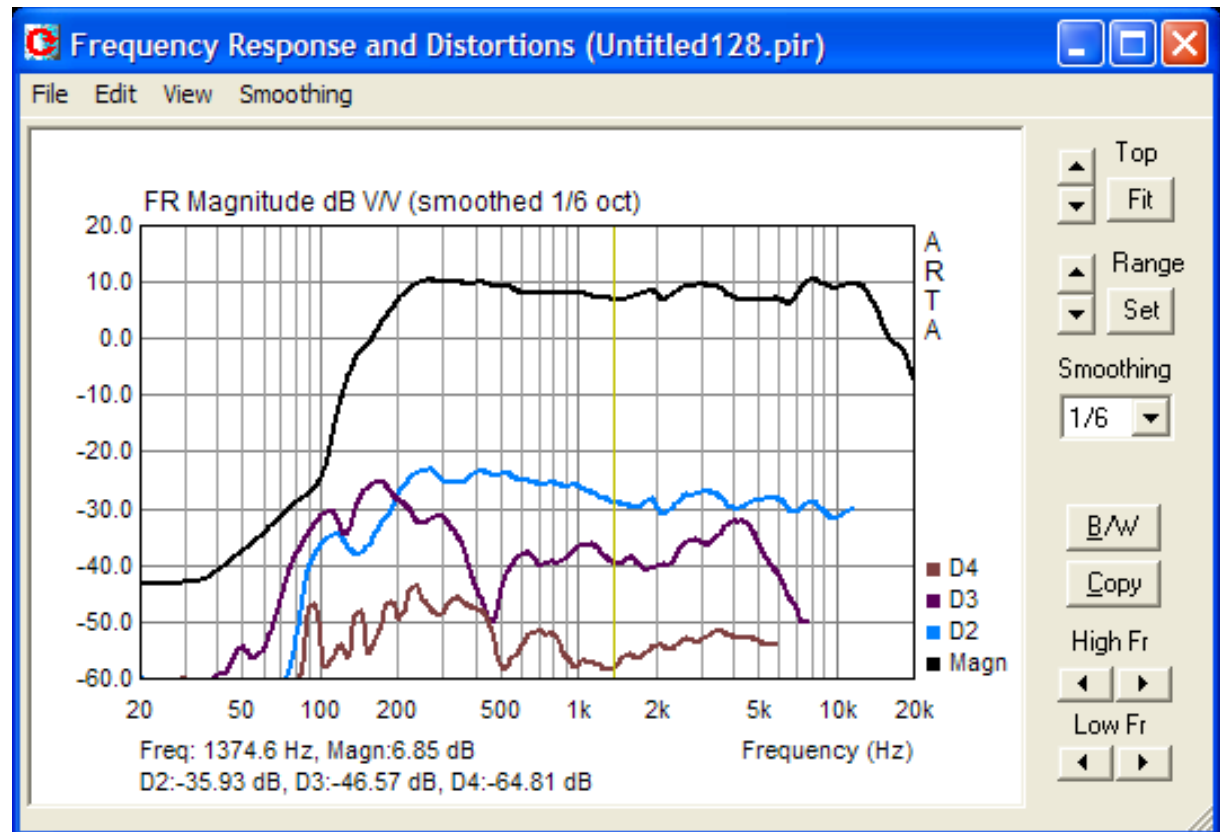
⇒ Istovremeno mjerenje frekvencijskog odziva i harmoničkih izobličenja s pobudom tipa logaritamsko-klizajući sinus



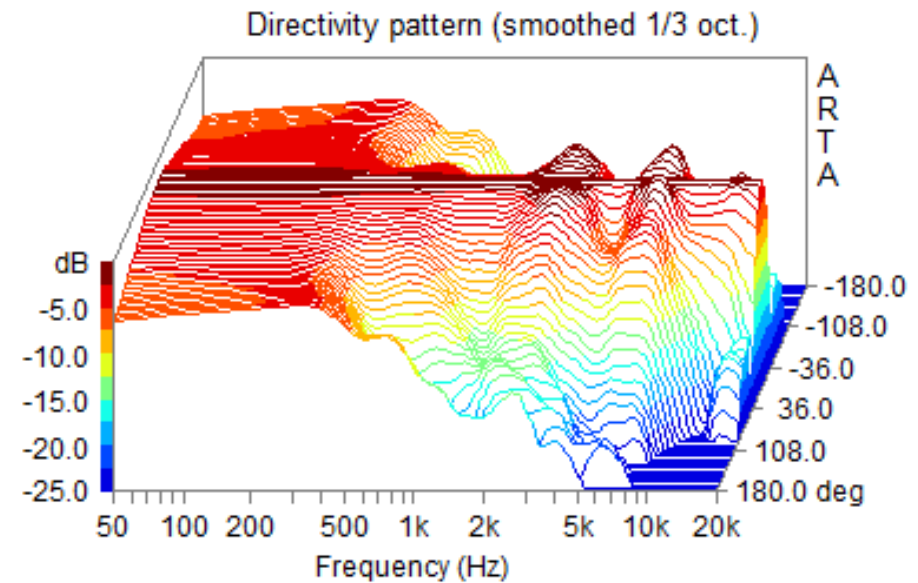
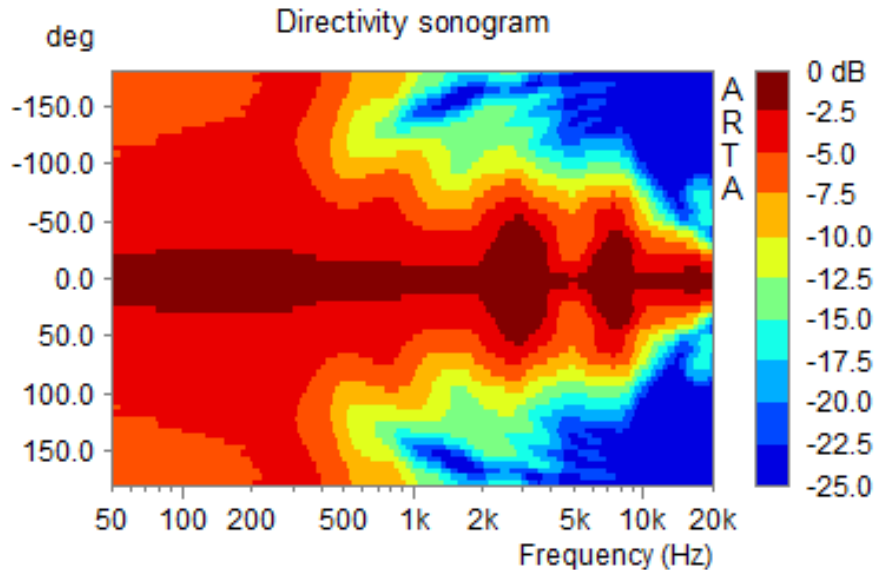
## ⇒ postavke mjerenja



⇒ istovremeno mjerenje frekvencijskog odziva i harmoničkih izobličenja s pobudom logaritamsko-klizajući sinus

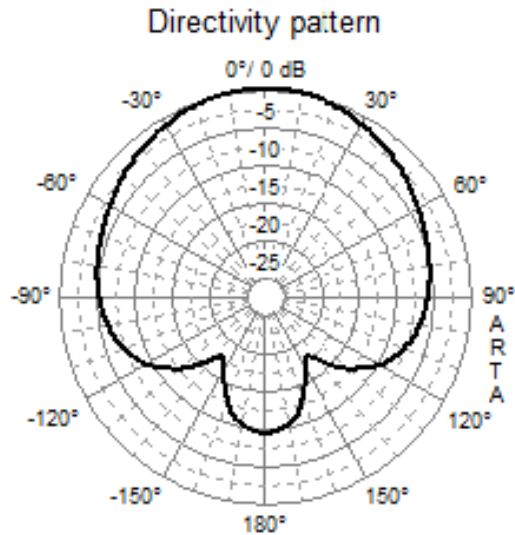


## ⇒ usmjerne karakteristike zvučnika

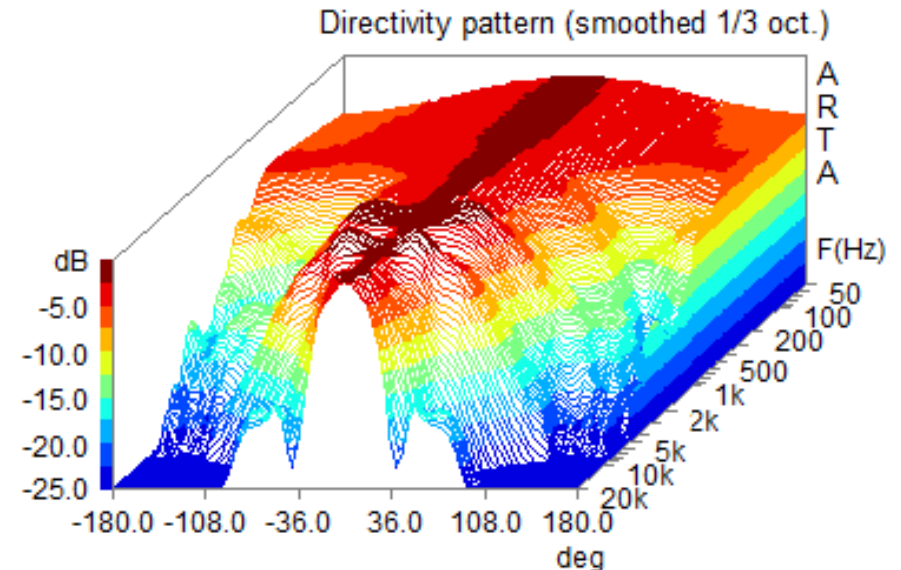




## ⇒ usmjerne karakteristike zvučnika

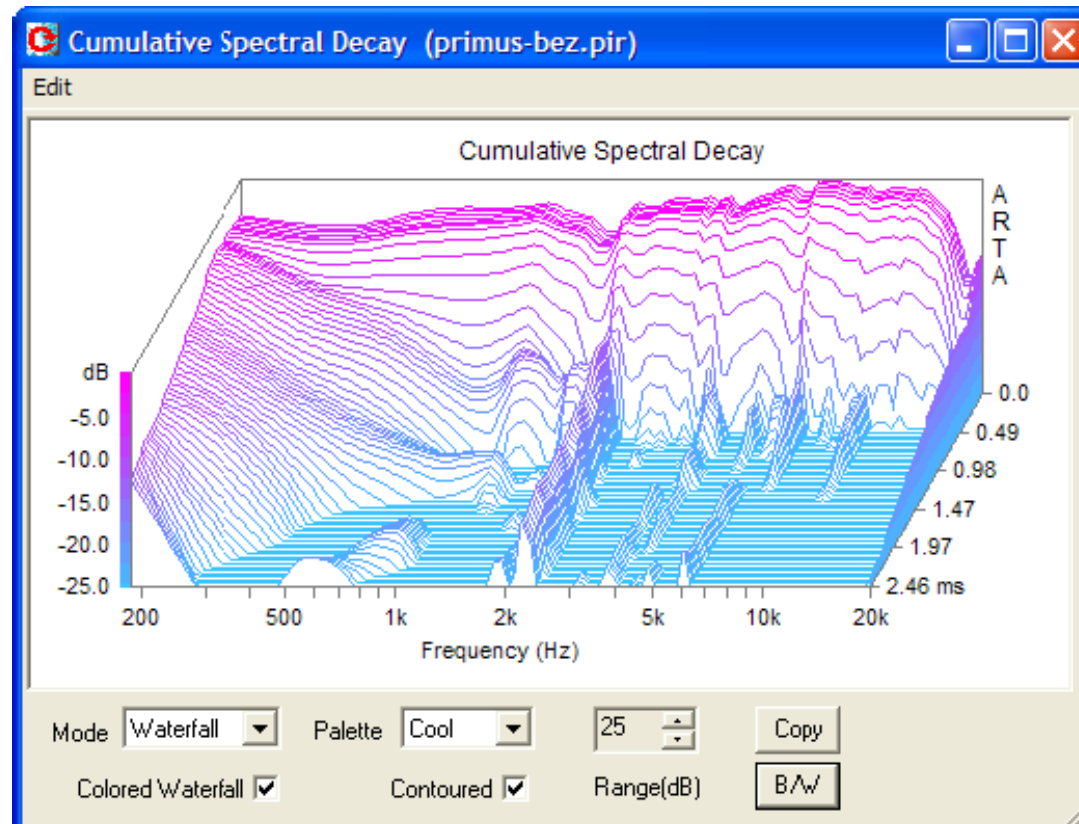


$f = 1000 \text{ Hz}$ ,  $Q = 2.34$ ,  $DI = 3.7 \text{ dB}$ ,  $\text{Angle}(-6\text{dB}) = 167.6^\circ$



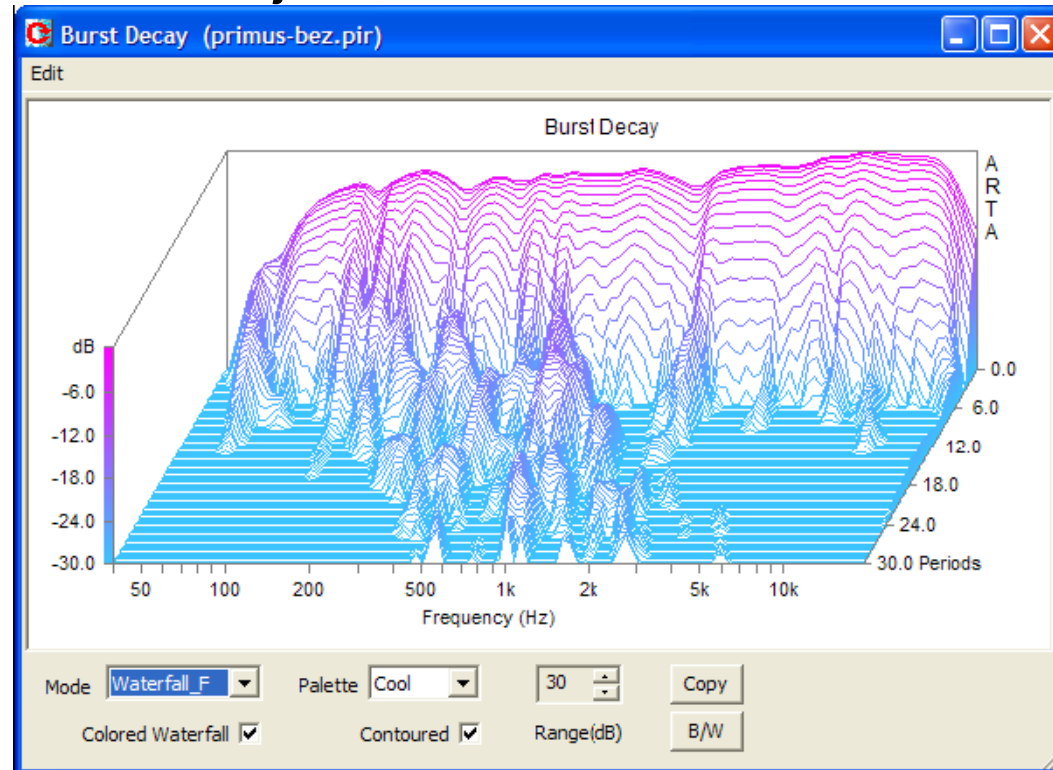
## ⇒ Kumulativno kašnjenje u spektru

⇒ klasična metoda za detektiranje rezonancija – slična Short Time Fourier metodi

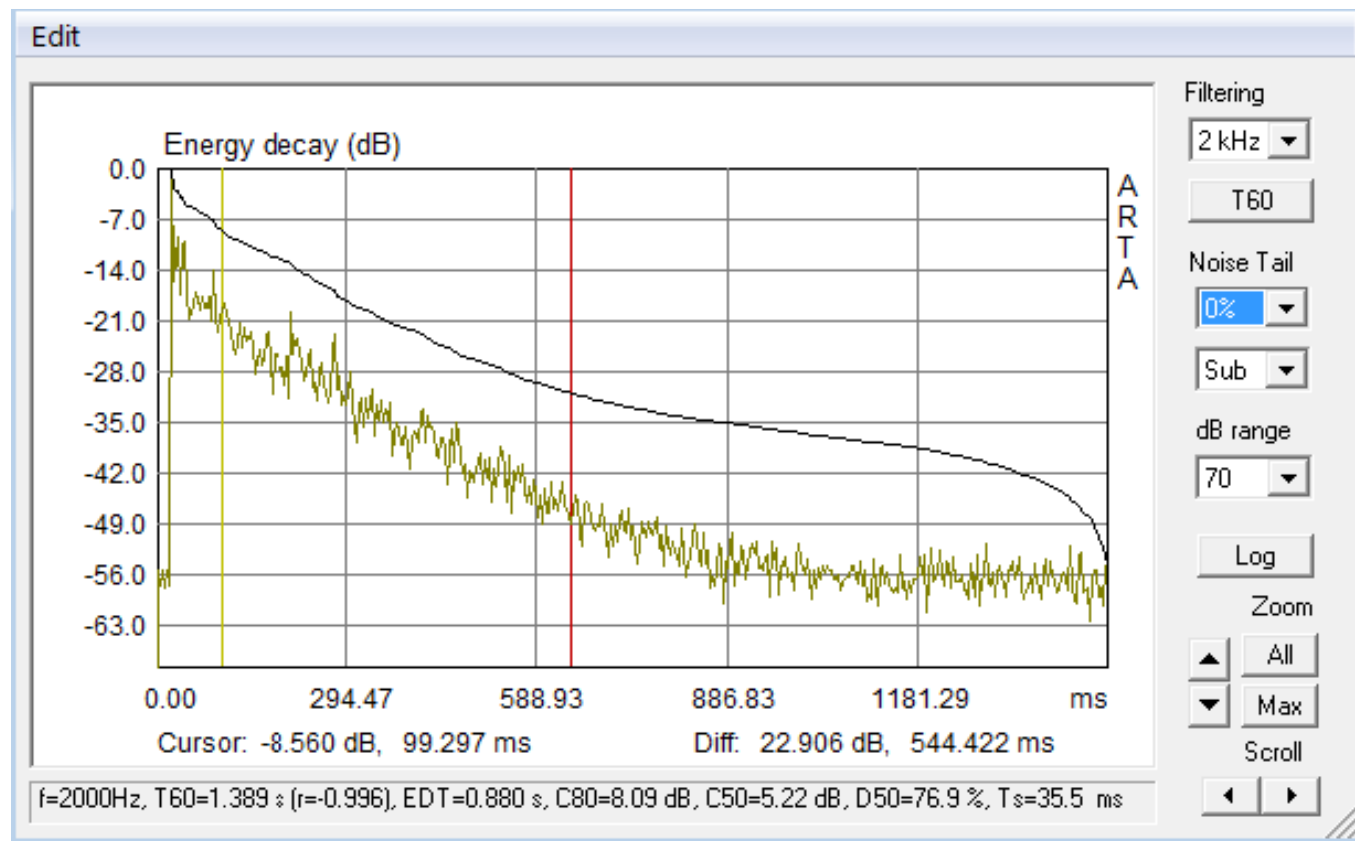


## ⇒ Kašnjenje burst - signala

- ⇒ pokazuje istitravanje rezonancija u **period-vremenskoj** skali. Daje jednaku težinu rezonancijama s istim Q faktorom neovisno o frekvenciji



## ⇒ Prozor za određivanje akustičkih parametara prostorije



## ⇒ Akustički parametri ISO -3382

Acoustical Parameters								
ROOM ACOUSTICAL PARAMETERS								
	WideBand	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz
T60 (s)	1.882	2.532	2.453	2.009	2.190	1.431	1.173	1.028
regr.	-0.998	-0.989	-0.996	-0.998	-0.989	-0.999	-0.994	-0.964
EDT (s)	0.883	2.753	1.704	1.519	1.165	0.834	0.563	0.007
C80 (dB)	10.375	3.206	3.517	4.106	4.329	9.693	13.149	18.784
C50 (dB)	8.898	2.260	2.000	2.536	2.139	7.288	11.087	16.584
D50 (%)	88.584	62.723	61.316	64.198	62.071	84.267	92.777	97.851
Ts (ms)	44.1	128.2	103.6	101.5	89.3	47.6	32.9	25.4

Copy OK

- ⇒ STI
- ⇒ **Speech transmission index**
- ⇒ određuje se prema standardu IEC 60268-16.
- ⇒ Indeks modulacije računa se za oktavne pojase i modulacijske frekvencije od 0.63 Hz do 12.5 Hz.
- ⇒ STI se daje za muškog i ženskog govornika:
  - ⇒ Bad      poor      fair      good      excellent
  - ⇒ 0.3      0.45      0.6      0.75      1.0
  - ⇒ %ALcons – articulation loss of consonants.

## ⇒ prikaz rezultat mjerenja razumljivosti govora

Speech Transmission Index

SPEECH TRANSMISSION INDEX - MTF Matrix

Band	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0.63	0.8282	0.8862	0.9013	0.9215	0.9653	0.9855	0.9957
0.80	0.8282	0.8862	0.9013	0.9215	0.9653	0.9855	0.9957
1.00	0.6805	0.7901	0.8096	0.8433	0.9271	0.9684	0.9909
1.25	0.6805	0.7901	0.8096	0.8433	0.9271	0.9684	0.9909
1.60	0.5878	0.7089	0.7326	0.7710	0.8898	0.9501	0.9853
2.00	0.5775	0.6435	0.6720	0.7098	0.8583	0.9334	0.9796
2.50	0.6082	0.5969	0.6243	0.6579	0.8328	0.9192	0.9743
3.15	0.6155	0.5634	0.5881	0.6110	0.8118	0.9068	0.9694
4.00	0.5660	0.5159	0.5464	0.5220	0.7751	0.8856	0.9602
5.00	0.5224	0.4848	0.5214	0.4468	0.7416	0.8687	0.9523
6.30	0.5205	0.4274	0.4969	0.3971	0.7153	0.8585	0.9474
8.00	0.5586	0.4087	0.4195	0.3466	0.6786	0.8561	0.9438
10.00	0.4133	0.3683	0.3638	0.3254	0.6534	0.8450	0.9376
12.50	0.3130	0.3095	0.1995	0.2719	0.6438	0.8279	0.9287
OctTI	0.5597	0.5712	0.5816	0.5891	0.7470	0.8602	0.9632

STI = 0.7188 (male), 0.7446 (female)    Rating: GOOD (GOOD)  
 (%ALcons= 3.6304)

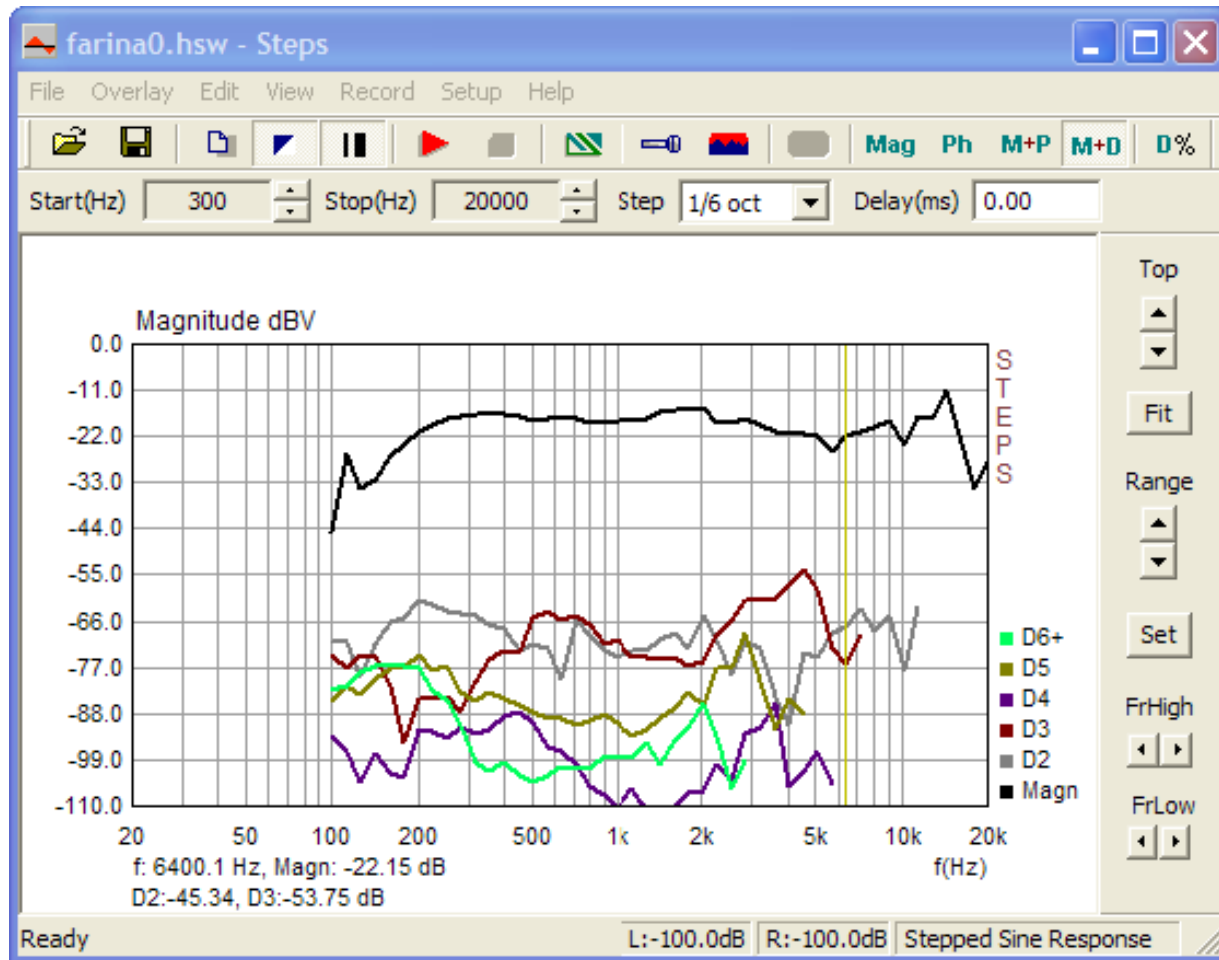
Copy    OK

## ⇒ STEPS

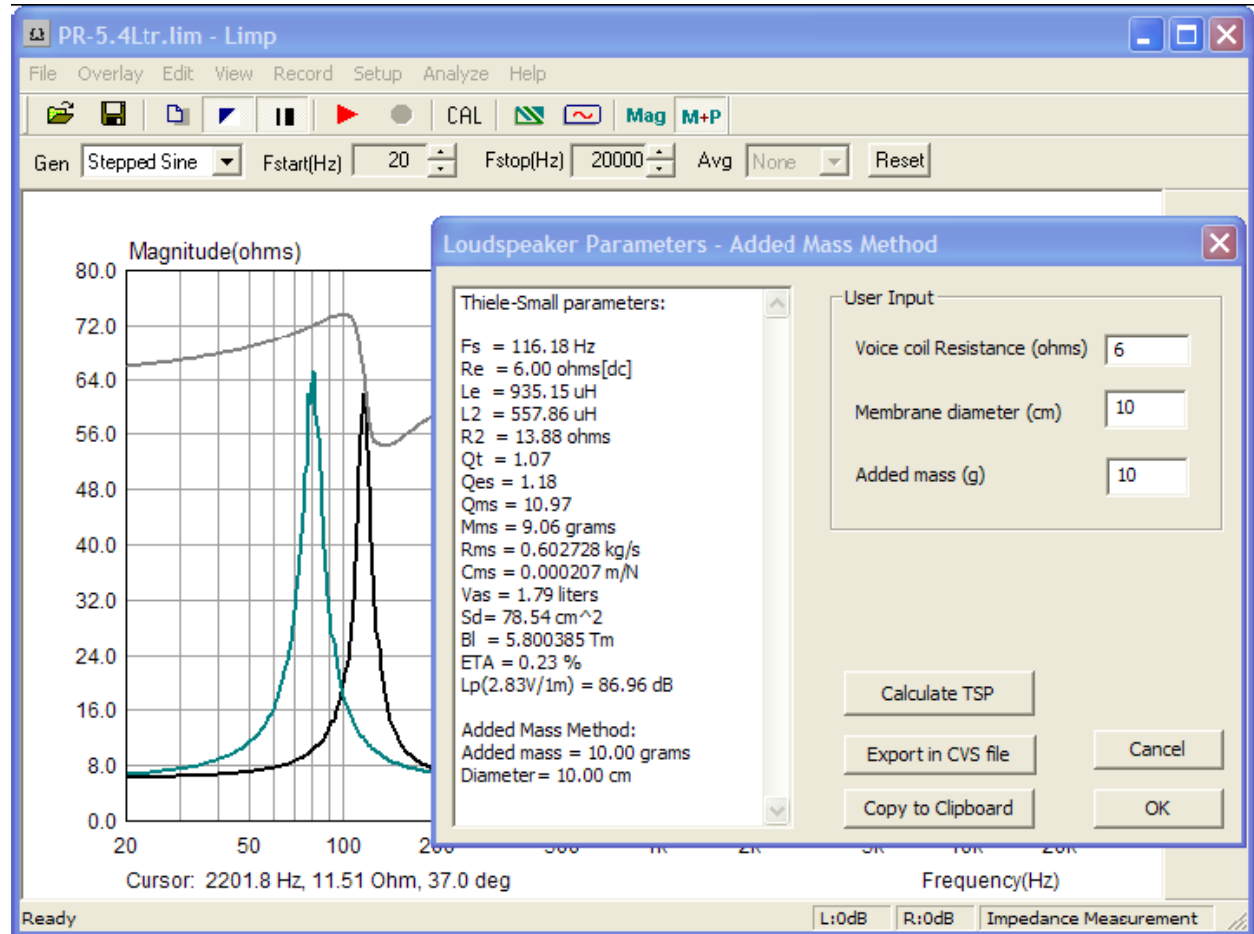
- ⇒ program za mjerenje frekvencijskog odziva i izobličenja pomoću sinusne pobude
- ⇒ Velika imunost na šum.
- ⇒ Mjerenje se može provesti na otvorenom prostoru s visokom razinom buke.
- ⇒ Dinamičko područje 100-120 dB, ovisno o kvaliteti zvučne kartice.



⇒ izgled STEPS grafičnog sučelja

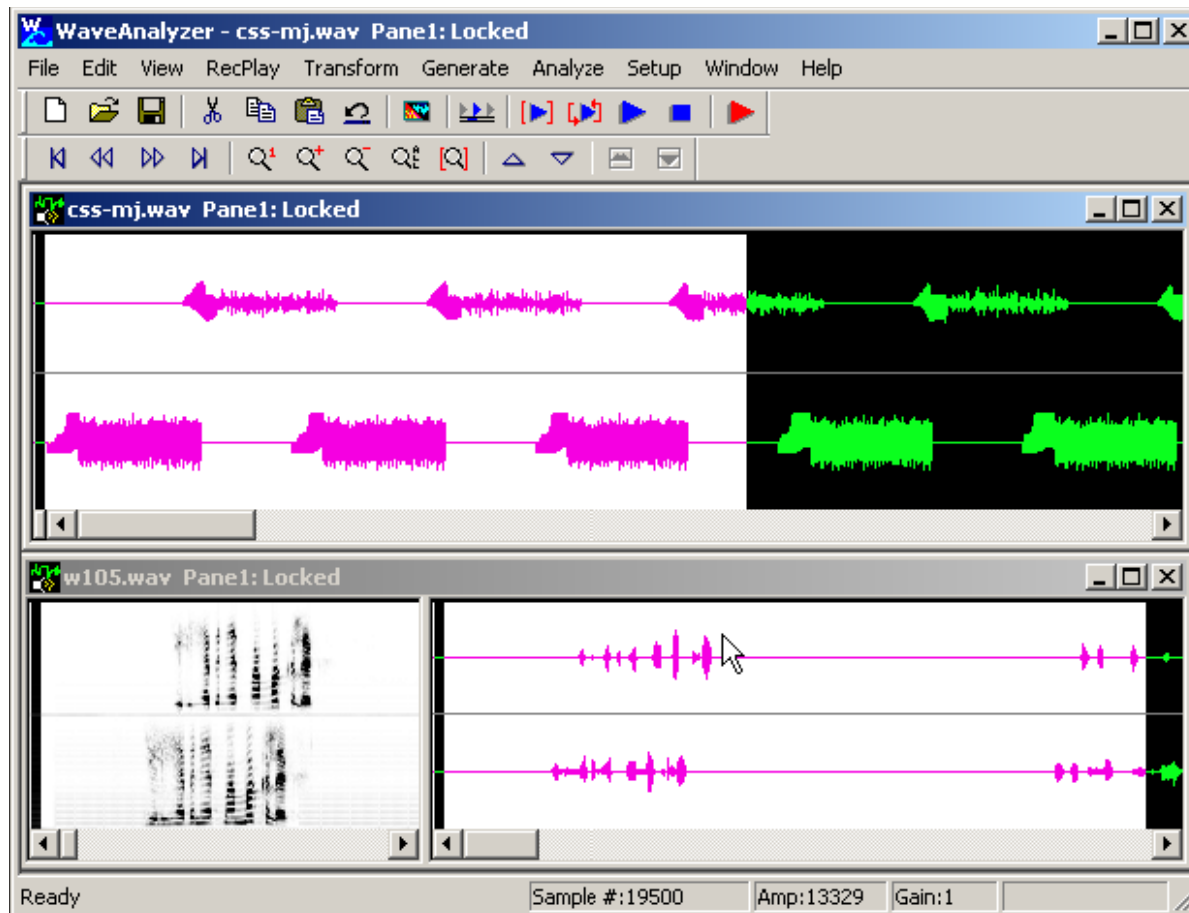


- ⇒ LIMP
- ⇒ program za mjerjenje impedancije i TS parametara elektrodinamičkog zvučnika

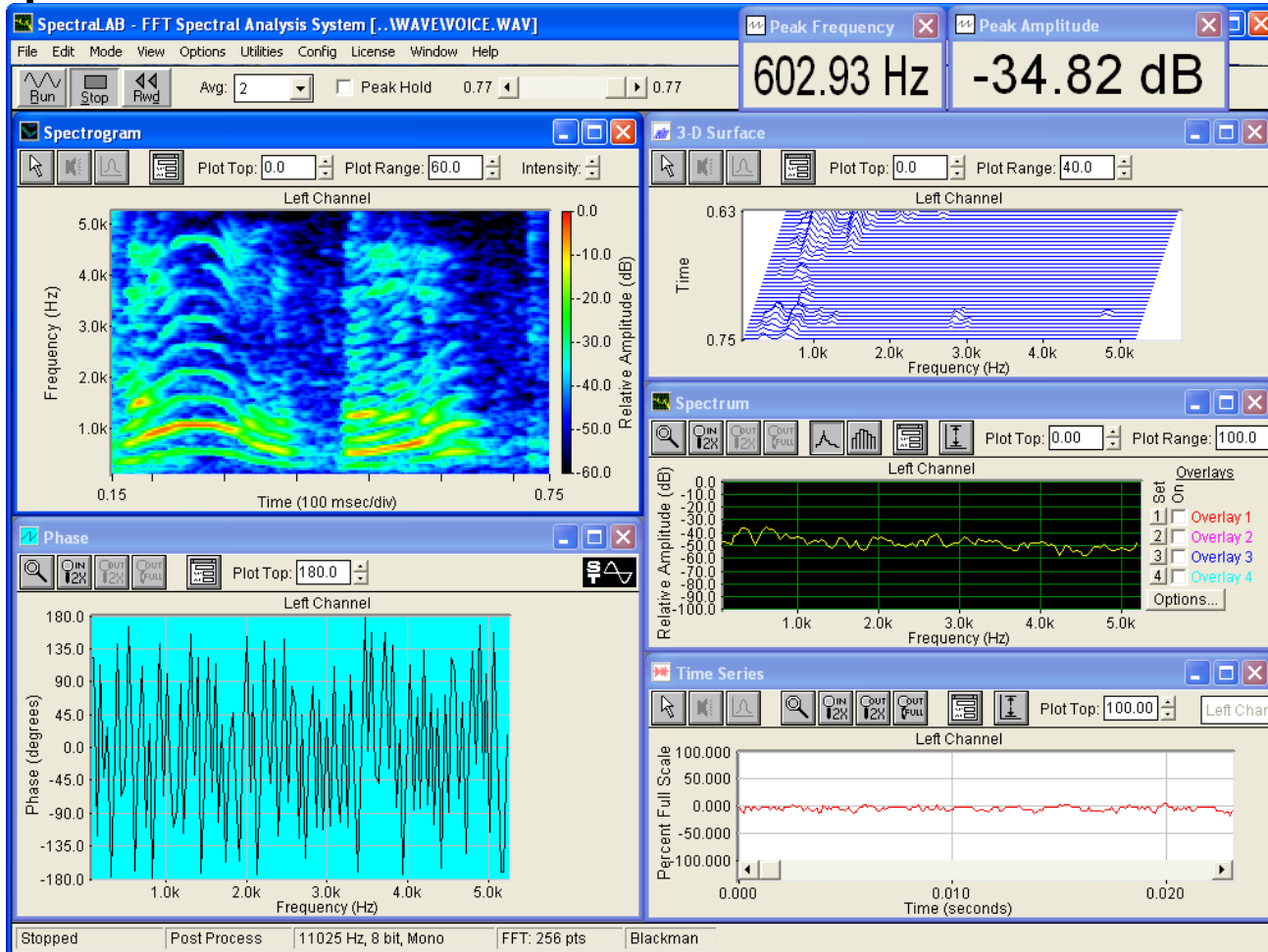


- ⇒ Wave Analyzer – program za off-line audio analizu zvučnih datoteka
- ⇒ Zapis signala: wav datoteka
- ⇒ Analizira:
  - ⇒ Spektrogram
  - ⇒ Spektar
  - ⇒ FR
  - ⇒ Korelacija
- ⇒ **Interface za ITU\_T programe:**
  - ⇒ PESQ, PEAQ, MQE

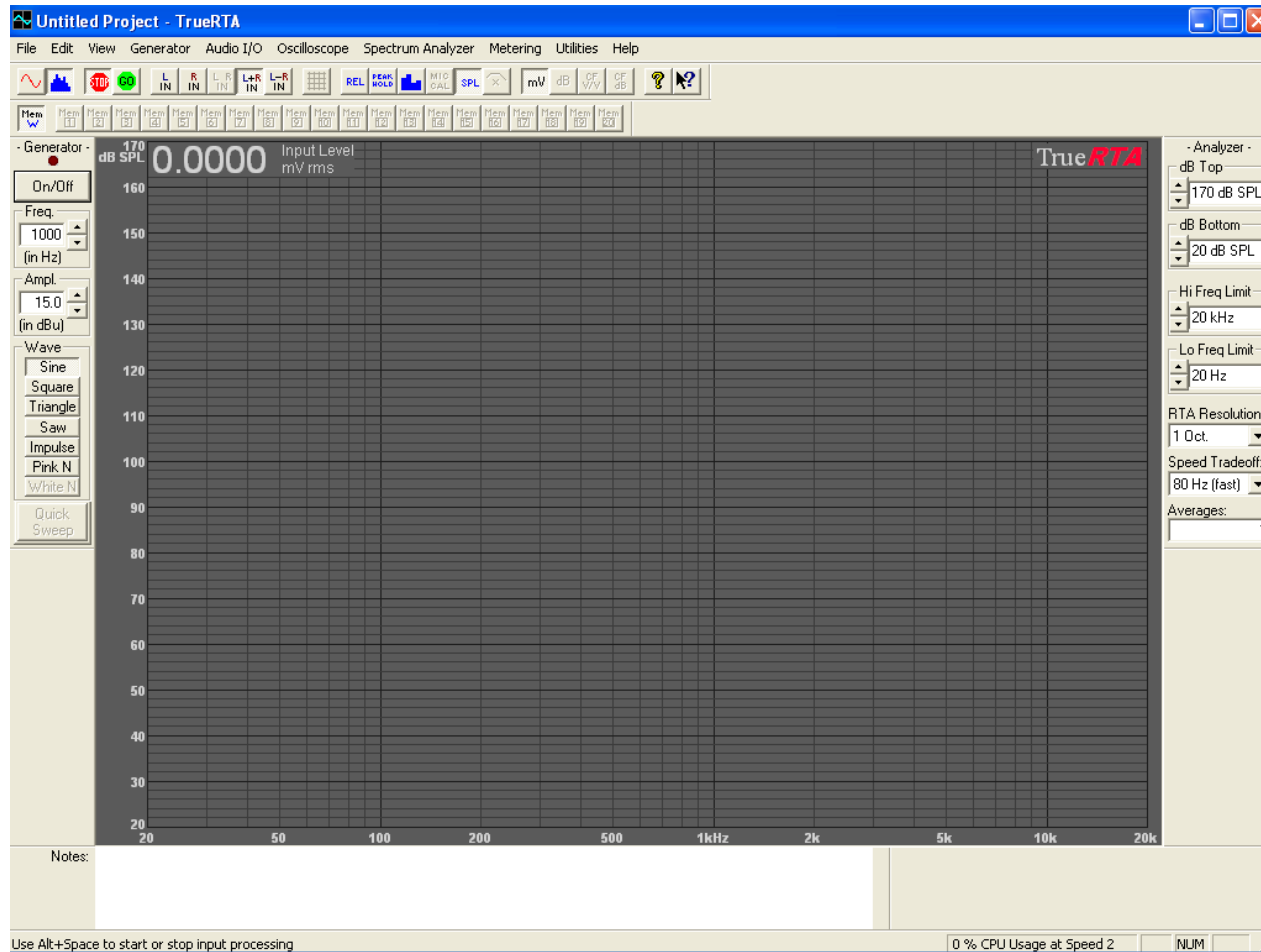
## ⇒ grafičko sučelje Wave Analyzer-a



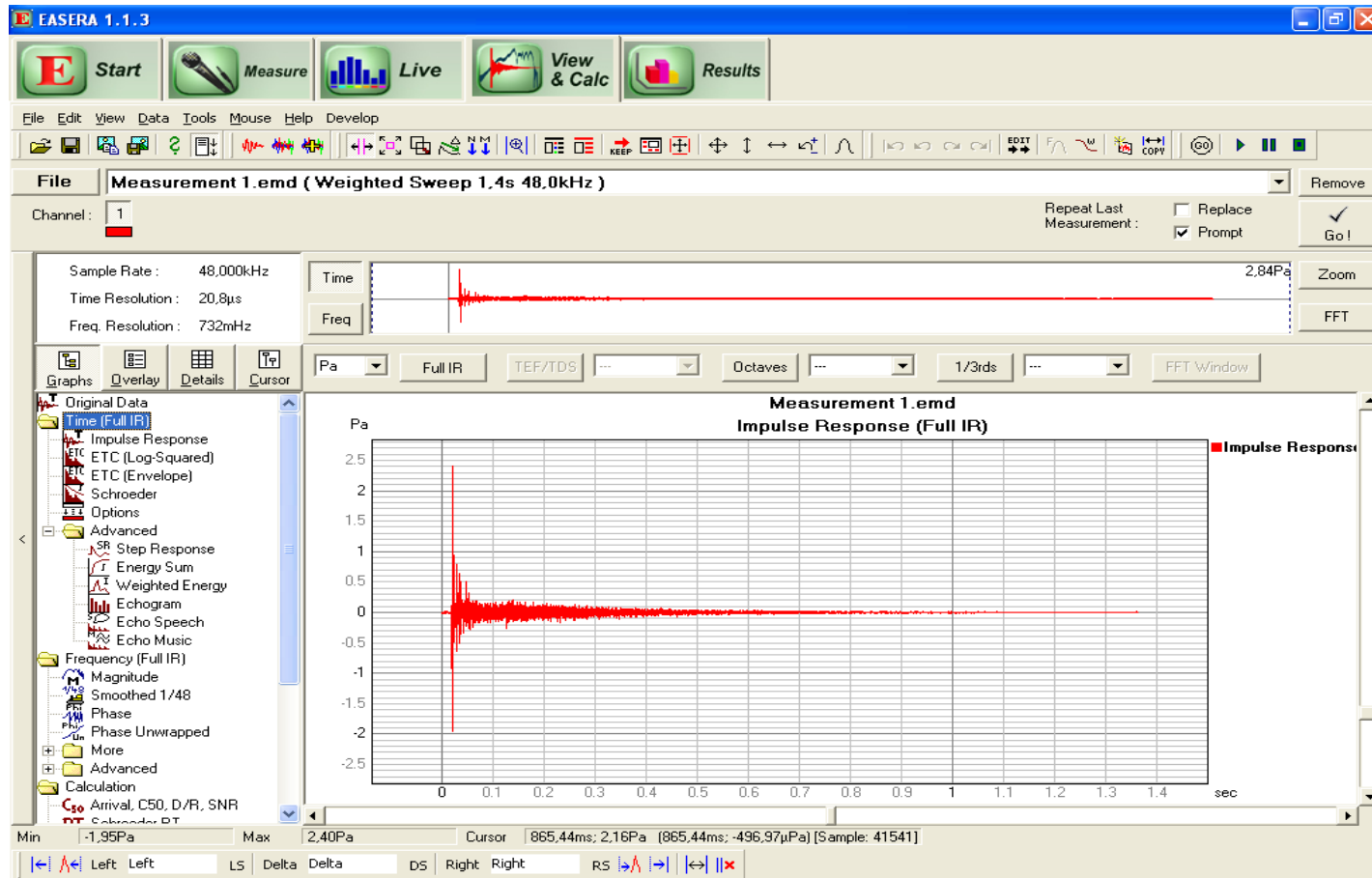
# ⇒ Spectralab



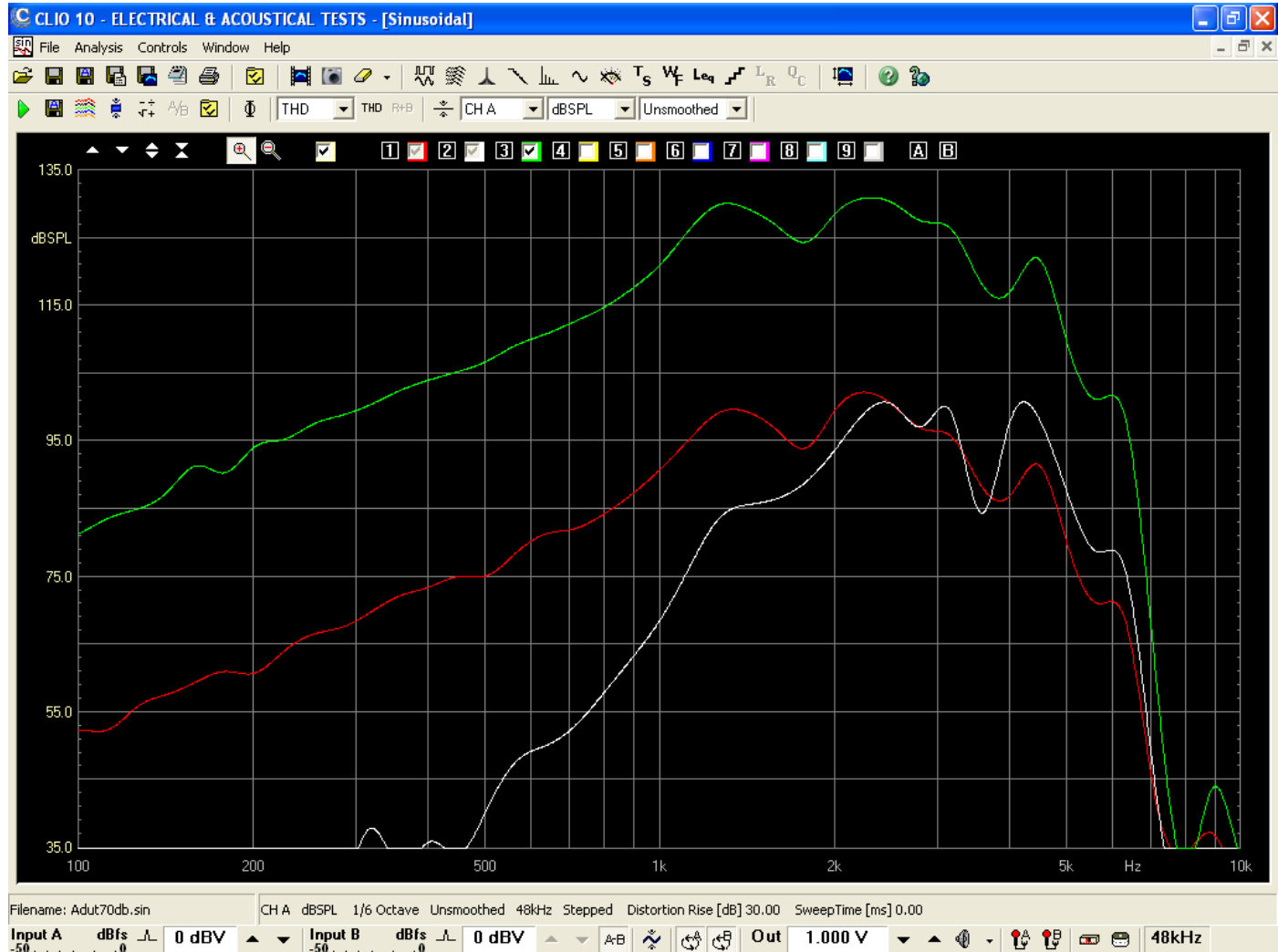
# ⇒ TrueRTA



# ⇒ EASERA

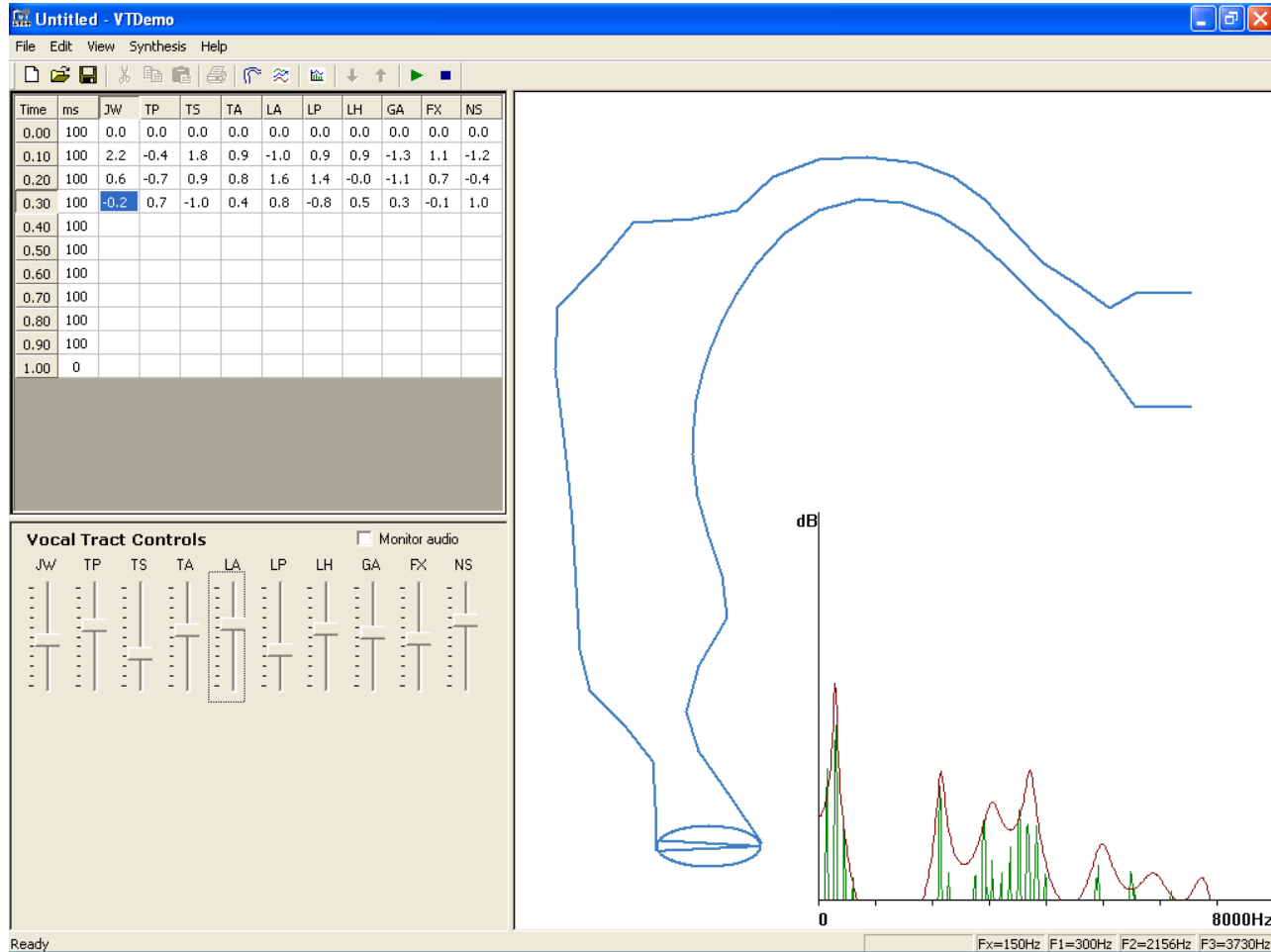


⇒ CLIO

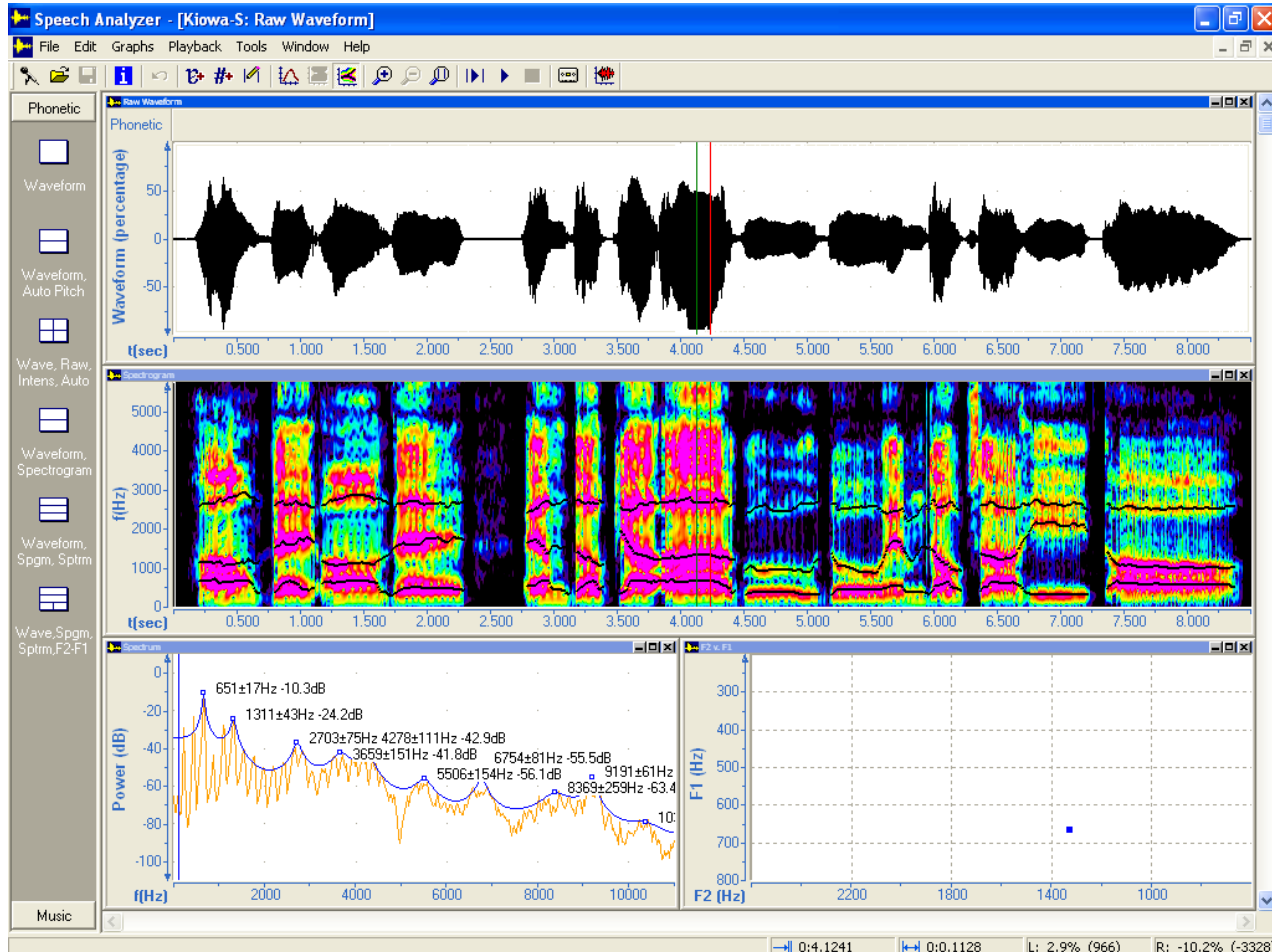




# ⇒ Vocal Tract Simulation



# ⇒ Speech Analyzer - govor



# ⇒ Speech Analyzer - glazba

