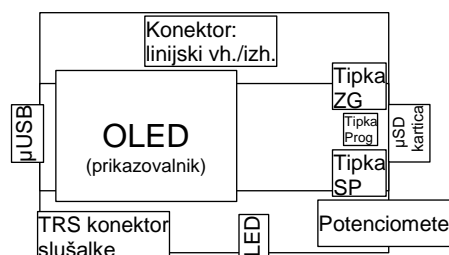


Akustika in elektroakustika s Teensy procesorsko ploščico in avdio vmesnikom

S pomočjo procesorske ploščice Teensy 4.0 <https://www.pjrc.com/store/teensy40.html> in avdio vmesnika https://www.pjrc.com/store/teensy3_audio.html lahko prikažemo nekaj osnovnih akustičnih in elektroakustičnih nalog z različnimi nastavitvami. Osnovni namen je z enostavno in dostopno opremo omogočiti samostojni prikaz elektroakustičnih pojavov z in tudi brez uporabe osebnega računalnika. Novejši notesniki ne omogočajo zajema stereo avdio signalov brez uporabe zunanje zvočne kartice. Omenjeni sistem po priključitvi na osebni računalnik preko mikro USB konektorja deluje kot zunanja stereo zvočna kartica s frekvenco vzorčenja 44,1 kHz in 16 bitno globino avdio signalov https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Audio.html. Osnovnemu vezju procesorske in avdio ploščice je dodan OLED grafični prikazovalnik, dve tipki, potenciometer za nastavljanje glasnosti in večbarvna LED. Z izbiro primerne opreme (MEMS mikrofoni, vmesnik za merjenje impedance, miniaturni zvočnik, kostni vibratorni pretvornik) razširimo področje uporabe in prikaza elektroakustičnih pojavov.

POZOR: Priključka za slušalke na avdio ploščici NE priključujte na mikrofonski vhod, linijski vhod ali kakšno drugo avdio opremo, saj je skupna sponka na potencialu 1,6 V glede na skupno maso in lahko nastane poškodba avdio vmesnika ali avdio naprave zaradi kratkega stika. Na izhod za slušalke (3,5 mm TRS konektor) se lahko priključi zvočnik, slušalke ali kostni vibratorni pretvornik oz. zunanja naprava, brez galvanske povezave z maso.



Slika 1: Procesorska ploščica s prikazovalnikom ter avdio vmesnikom (levo) in shematski prikaz komponent (desno).

Izbiri nastavitve spremenimo s hkratnim pritiskom zgornje (ZG) in spodnje (SP) tipke (vsaj 1 s). Predvajanje avdio posnetka iz SD kartice se vključi avtomatsko ali s pritiskom na spodnjo tipko. Z zgornjo tipko izbiramo trenutno aktiven parameter (vsaj za 0,5 s), nastavev parametra spreminjamo s spodnjo tipko (vsaj 0,5 s), amplitudo predvajanja nastavimo s potenciometrom, v spodnji vrstici prikazovalnika se izpisuje nastavljena vrednost amplitude. Frekvenco in kvaliteto filtra pa s pritiskom na spodnjo tipko in potenciometrom.

POZOR: potenciometer je po opravljeni nastavitvi potrebno zavrteti v položaj z primerno nastavitvijo glasnosti predvajanja posnetka, saj se njegova funkcija spremeni s spremembo nastavljenega parametra.

Posebnih gonilnikov za avdio vmesnik ni potrebno instalirati, operacijski sistem ga prepozna avtomatsko.

Tokovna poraba vmesnika je do 0,1 A, odvisno od nastavitvev.

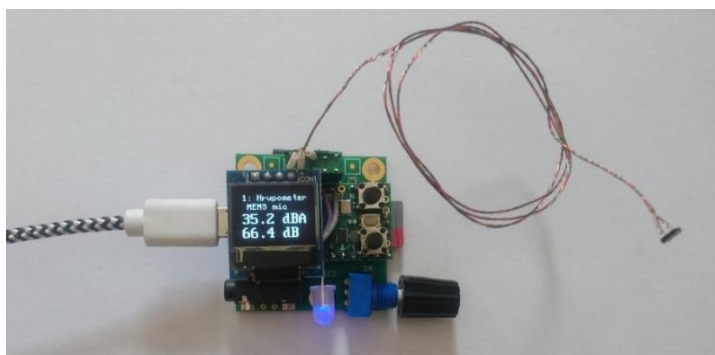
V nadaljevanju so predstavljene različne nastavitve in možnosti uporabe.

Nastavitev 1: Hrupometer

Pri tej nastavitvi se lahko izbere vgrajeni elektret kondenzatorski mikrofonski, premera 6 mm ali MEMS mikrofonski preko linijskega vhoda in AC'97 konektorja (<ftp://148.6.76.109/PUB/AC97r22.pdf>) z dodatnim 3 V napajanjem na kontaktu št. 6, s krajšim pritiskom na spodnjo tipko (vsaj 0,5 s). Na zaslonu je prikazan nivo zvočnega tlaka brez in z 'A' frekvenčno utežitvijo. Vrednosti se izpisujejo tudi preko virtualnega zaporednega vmesnika (hitrost prenosa podatkov 115200 baud, brez paritete, 1 stop bit, 8 podatkovnih bitov). Nivo zvočnega tlaka z A frekvenčno utežitvijo je predstavljen tudi z večbarvno LED diodo:

Od 35 dBA do 45 dBA	modra, različna amplituda
Od 45 dBA do 55 dBA	modra
Od 55 dBA do 65 dBA	modro-zelena
Od 65 dBA do 75 dBA	zelena
Od 75 dBA do 85 dBA	zeleno-rdeča
Nad 85 dBA	rdeča

Mikrofon se izbere z krajšim pritiskom (>0,5 s) na spodnjo tipko.



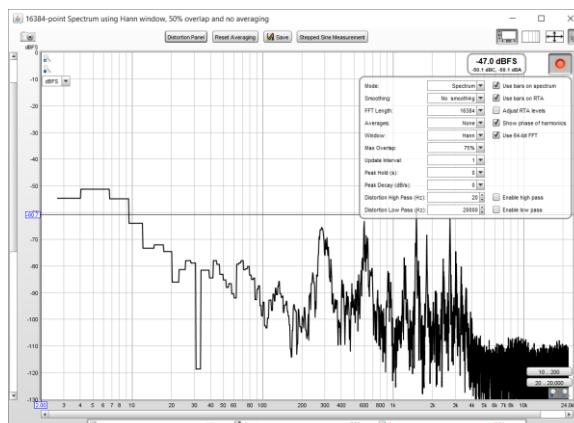
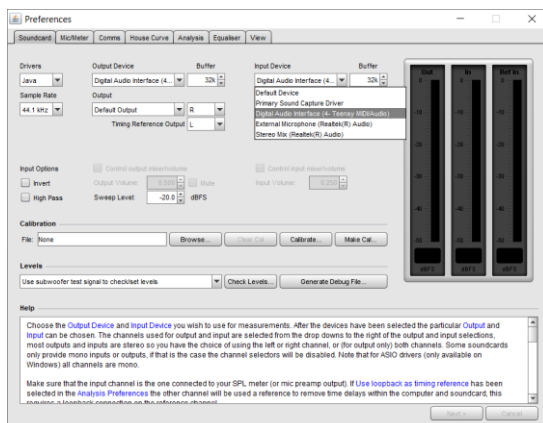
Slika 2: Priklučen MEMS mikrofonski preko linijskega vhoda na avdio vmesniku.

Podatki preko zaporednega vmesnika:

Nivo zvočnega tlaka trenutna vrednost; nivo z 'A' utežitvijo trenutna vrednost; nivo zvočnega tlaka časovno povprečje; nivo z 'A' utežitvijo časovno povprečje; nastavev potenciometra od 0 do 1023; obremenitev procesorja v %.

```
LZF 64.82 LAF 31.47 LZFa 64.82 LAFa 31.47 Pot 1023 Proc 6.33
LZF 64.81 LAF 30.68 LZFa 64.81 LAFa 30.68 Pot 1023 Proc 6.35
LZF 64.77 LAF 30.68 LZFa 64.77 LAFa 30.68 Pot 1023 Proc 6.35
LZF 64.80 LAF 30.68 LZFa 64.80 LAFa 30.68 Pot 1023 Proc 6.35
LZF 64.75 LAF 30.68 LZFa 64.75 LAFa 30.68 Pot 1023 Proc 6.35
```

L kanal avdio signala preko USB vmesnika (zvočna kartica) vsebuje vzorčen signal izbranega mikrofona z A frekvenčno utežitvijo, D kanal avdio signala pa vzorčen signal iz izbranega mikrofona brez frekvenčne utežitve. Če želite opazovati spekter zajetega avdio signala s programom REW, je potrebno v nastavitvah izbrati Teensy ploščico:



Nastavitev 2: Zvočna kartica

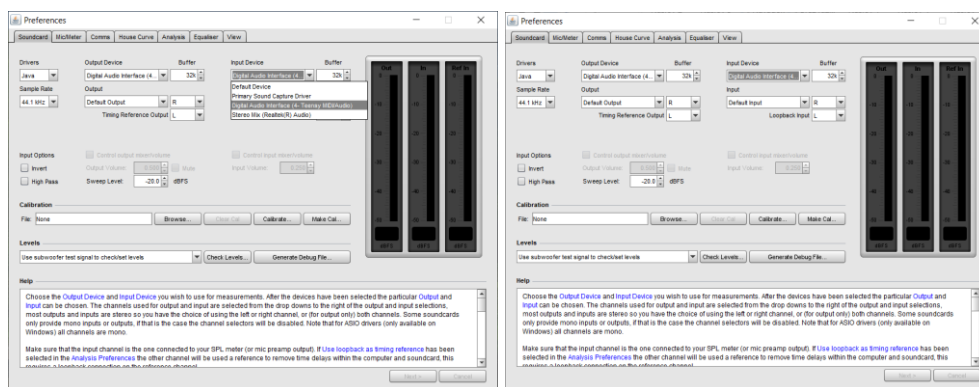
Vmesnik prevzame funkcijo zvočne kartice: predvajanemu posnetku se lahko nastavlja amplitudo s potenciometrom na audio ploščici. Programske nastavitve operacijskega sistema nimajo vpliva na amplitudo predvajanega posnetka.

Nastavitev se lahko uporabi za merjenje impedance slušalk in zvočnikov s pomočjo programa REW <https://www.roomeqwizard.com/>. Zvočnik ali slušalke se priključijo preko kabla z \bar{Z} TRS 3,5 mm konektorjem, ki se ga poveže na linijski vhod/izhod audio vmesnika – konektor nad OLED prikazovalnikom. Povezave so izvedene, kor je prikazano v navodilih programa (Room EQ Wizard Help / Impedance measurements). Pred meritvijo je potrebno opraviti 'kalibracijo', kar se stori z nastavitvijo referenčne upornosti v programu na 0Ω , upor na konektorju pa se z žico (krokodilčkom, ...) premosti – veže v kratki stik. Po 'kalibracijski' meritvi se odstrani prevezavo, nastavi referenčno vrednost upora v programu na 1200Ω in izvede meritev. Nivo predvajanega signala je potrebno nastaviti na -20 dBfs v programu REW.



Slika 3: Meritev impedance slušalk.

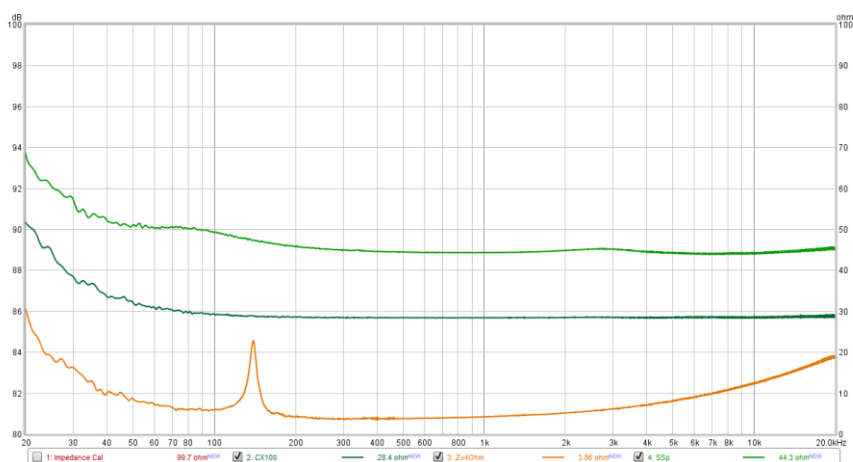
Ker audio vmesnik ne uporablja nizkoimpedančnega izhoda in visokoimpedančnega vhoda in zaradi presluha se pojavi napaka meritve pri nizkih frekvencah (pod 50 Hz).



Slika 4: Nastavitev audio vmesnika v programu REW.



Slika 5: Nastavitve v programu REW pri meritvi impedence.



Slika 6: Primeri izmerjenih impedanc slušalk CX100 (Sennheiser), 4 Ω zvočnika in slušalk SoundSport (Bose).

Nastavitev 3: Filtriranje

Pri tej nastavitvi se uporablja filtre iz avdio knjižnice <https://www.pjrc.com/teensy/gui/index.html?info=AudioFilterBiquad>, katerim se lahko nastavlja vrsto filtra, mejno frekvenco, kvaliteto filtra in vir avdio signala. Z zgornjo tipko se izbere parameter, katerega želimo spreminjati, trenutno izbran parameter ima pred imenom zvezdico. V 2. vrstici se lahko izbere vir avdio signala (levo) in vrsta filtra (desno).



Slika 7: Avdio filtriranje

Ko je zbran parameter vir avdio signala ali vrsta filtra se lahko nastavlja s potenciometrom amplituda izhodnega signala. **POZOR:** paziti je potrebno na primerno nastavljeno amplitudo, ko se nastavlja mejno frekvenco in kvaliteto filtra. Potenciometer za glasnost po nastavitvi frekvence ali kvalitete filtra nastavite na primerno amplitudo. Pri izbiri mikrofonskega vhoda z MEMS ali elektret mikrofonom lahko nastane mikrofoniija!

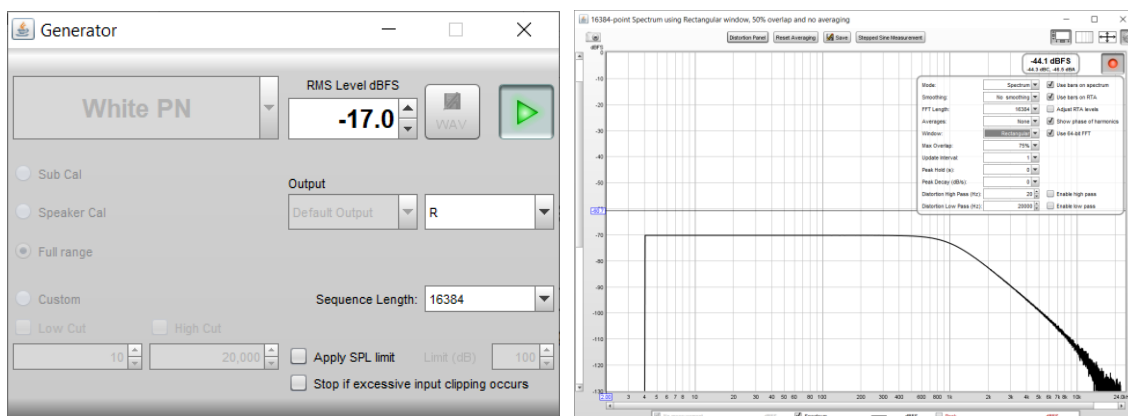
Izbira avdio signala:

MEMS	mikrofonski vhod z MEMS mikrofonom
ELKT	mikrofonski vhod z elektret-kondenzatorskim mikrofonom
USB	USB vmesnik – predvajanje posnetka
WAV	predvajanje datoteke z μ SD kartice, predvajanje se vključi avtomatsko: 01.wav

Vrste filtrov:

LP	Low Pass	Nizko prepustni filter
HP	High Pass	Visoko prepustni filter
BP	Band Pass	Pasovno prepustni filter
BS	Band Stop	Pasovno zaporni filter

Kot vir signala se lahko uporabi osebni računalnik, ko se izbere vir avdio signala 'USB'. S programom REW se lahko opazuje spekter filtriranega signala, testni signal (npr. psevdonaključni beli šum) se tudi generira s programom REW:



Nastavitev 4: WAV predvajalnik

WAV predvajalnik predvaja datoteko z imenom 01.wav shranjeno na μ SD kartici. Če kartica ni prisotna, javi napako. Amplituda predvajanja posnetka je višja, tako da se lahko uporabi tudi vibratorni avdio pretvornik, s katerim se lahko preveri prevajanje zvoka preko kosti (pretvornik se priglasi na mastoid) ali pa se uporabi primerno površino kot zvočnik. Odziv pri nizkih frekvencah se lahko izboljša z obtežitvijo vibratornega pretvornika.



Slika 8: Avdio vmesnik z vibratornim pretvornikom.

Predvajanje posnetka se sproži in ustavi s kratkim pritiskom na spodnjo tipko (več kot 0,5 s). **POZOR:** pazljivost je potrebna pri nastavljanju amplitude predvajanega posnetka s potenciometrom, še posebno pri uporabi občutljivih slušalk, da ne pride do poškodb sluha.

Če med predvajanjem posnetka prihaja do prekinitve je potrebno znižati amplitudo predvajanja. Zaradi velike amplitude lahko prihaja do prekoračenja tokovne zaščite ojačevalnika za slušalke.

Nastavitev 5: Simetrija

MEMS mikrofonski ICS-40619 https://product.tdk.com/info/en/documents/catalog_datasheet/mems-mic/ICS-40619-Datasheet.pdf je analogni mikrofonski s simetričnim (diferencialnim) izhodom. S simetrično priključitvijo se lahko zmanjša motnje, ki se pojavijo na povezovalnih kabljih. Izbira se lahko med tremi priključitvami mikrofona: simetrična, kjer se uporabi oba izhoda mikrofona, izhodni signal je razlika obeh signalov; pri nesimetrični priključitvi pa le + izhod mikrofona ali le – izhod. Glede na izbiro se avtomatsko prilagodi ojačanje.



Slika 9: MEMS mikrofonski, simetrična priključitev.

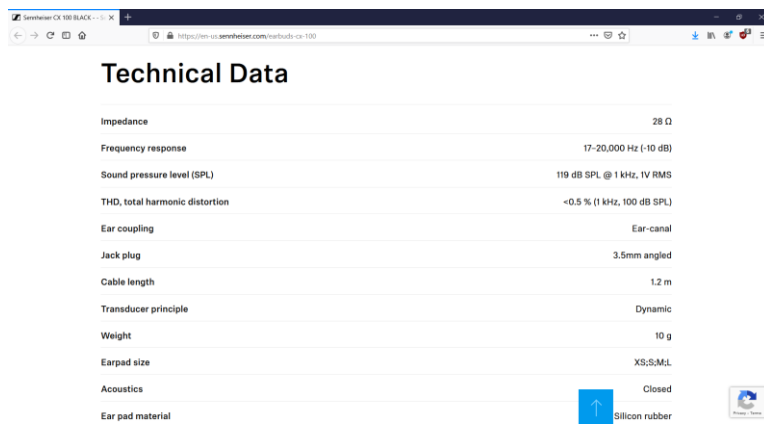
Pri nesimetrični priključitvi lahko opazimo boljše razmerje signal/šum. Zaradi kratkega priključnega kabla je razlika v amplitudi motenj zanemarljiva. Avdio signal iz mikrofona je na voljo na D avdio kanalu preko USB vmesnika (zunanja zvočna kartica). Spekter se najlažje opazuje s programom REW.

Nastavitev 6: Izhod AC

Pri tej nastavitvi procesor in avdio vmesnik generira AC električni signal nizke amplitude pri frekvenci 1 kHz na L kanalu priključka za slušalke (do 10 mV_{rms}). Amplitudo izhodne napetosti se nastavlja s potenciometrom. Če poznamo občutljivost slušalk, lahko nastavimo znan nivo zvočnega tlaka.

Primer:

<https://en-us.sennheiser.com/earbuds-cx-100>



Parameter	Value
Impedance	28 Ω
Frequency response	17-20,000 Hz (-10 dB)
Sound pressure level (SPL)	119 dB SPL @ 1 kHz, 1V RMS
THD, total harmonic distortion	<0.5 % (1 kHz, 100 dB SPL)
Ear coupling	Ear-canal
Jack plug	3.5mm angled
Cable length	1.2 m
Transducer principle	Dynamic
Weight	10 g
Earpad size	XS;S;M;L
Acoustics	Closed
Ear pad material	Silicon rubber

Slika 10: Občutljivost slušalk CX100.

Po podatkih proizvajalca je občutljivost za slušalke CX100 119 dB SPL pri frekvenci 1 kHz in napetosti 1 V_{rms}. Če želimo npr. predvajati nivo zvočnega tlaka 60 dB, je potrebno nastaviti:

$$\begin{aligned}60 \text{ dB} - 119 \text{ dB} &= -59 \text{ dB} \\10^{(-59/20)} &= 0,00112 \\0,00112 * 1 \text{ V} &= \mathbf{1,12 \text{ mV}}\end{aligned}$$

Izhodna impedanca ojačevalnika za slušalke na avdio vmesniku je nizka (< 1 Ω), tako da lahko spremembo napetosti zaradi obremenitve s slušalkami zanemarimo.

* * * * *

Viri

<https://www.pjrc.com/store/teensy40.html>
https://www.pjrc.com/store/teensy3_audio.html
https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_Audio.html
<https://www.pjrc.com/teensy/gui/index.html>
<https://www.arduino.cc/>
https://www.pjrc.com/teensy/td_download.html
[https://forum.pjrc.com/threads/57283-Change-sample-rate-for-Teensy-4-\(vs-Teensy-3\)](https://forum.pjrc.com/threads/57283-Change-sample-rate-for-Teensy-4-(vs-Teensy-3))
<https://github.com/olikraus/u8g2>
<https://en-us.sennheiser.com/earbuds-cx-100>

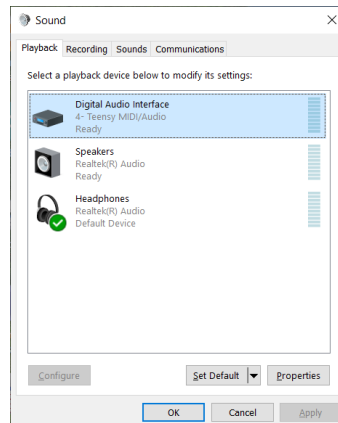
Beguš, S. Slušni in govorni trening ter elektroakustični pripomočki, akustično merjenje in avdiometriiranje : gradivo za laboratorijske vaje. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za metrologijo in kakovost, 2019. 17 str.

Beguš, S. Akustika in ultrazvok : gradivo za laboratorijske vaje. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za metrologijo in kakovost, 2015. 36 str.


Beguš, S. Avdiologija in elektroakustika : gradivo za laboratorijske vaje. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za metrologijo in kakovost, 2014. 30 str.

* * * * *

Nastavitve zvočne kartice na osebnem računalniku (označena je Teensy avdio ploščica):



Okno odprete:

- S pomočjo bližnjice '%windir%\system32\mmsys.cpl'
- 'Windows Tipka' na tipkovnici + 's' se odpre okno za iskanje, kjer vpišete 'Sound Settings', s potrditvijo se odpre okno z nastavitve za zvok, kjer izberete 'Sound Control Panel' na desni strani
- Desni klik na ikonico za nastavev jakosti zvoka v vrstici spodaj desno  in klik na 'Open Sound Settings', odpre okno z nastavitvami za zvok, kjer izberete 'Sound Control Panel' na desni strani