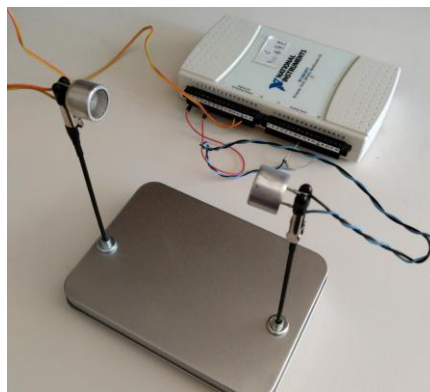


Merjenje razdalje z ultrazvokom – meritev faze

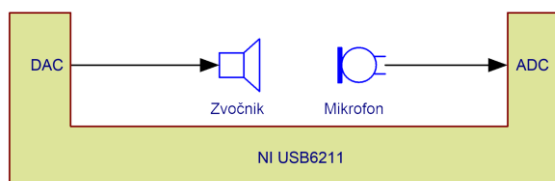
Razdaljo lahko merimo na veliko različnih načinov, a pri tej vaji bomo uporabili ultrazvok in dejstvo, da se zvok razširja po prostoru s hitrostjo $v \approx 330 \text{ m/s}$. Zvočnik naj oddaja stalen pisk znane frekvence, tega prestreže mikrofonski senzor in zato daje sinusni signal iste frekvence. Zvok od zvočnika do mikrofona potuje nekaj časa, zato je fazni kot med oddajanim signalom na zvočniku in sprejetim signalom z mikrofona odvisen od razdalje med zvočnikom in mikrofonom ter od frekvence signala. Na sliki 1 je postavitve poskusa. Pomeriti bo torej treba fazni kot med oddajanim in sprejetim signalom, v faznem kotu je skrita informacija o razdalji.



Slika 1: Postavitve eksperimenta z zvočnikom in mikrofonom

Ultrazvočni oddajnik in sprejemnik sta prirejena za frekvenco med 40 in 41 kHz ter izkazujeta precej ostro resonanco. Najboljšo frekvenco za vzbujanje zvočnika pokaže eksperiment; izberemo tisto frekvenco, pri kateri je odziv mikrofona največji. Pri tem eksperimentu vzbujamo zvočnik s funkcijskim generatorjem in opazujemo odziv mikrofona z osciloskopom. Žal na tak način lahko merimo razdaljo le znotraj ene valovne dolžine ultrazvoka, ki znaša $\lambda = v/f \approx 13 \text{ mm}$, ven iz tega območja se rezultati ponavljajo.

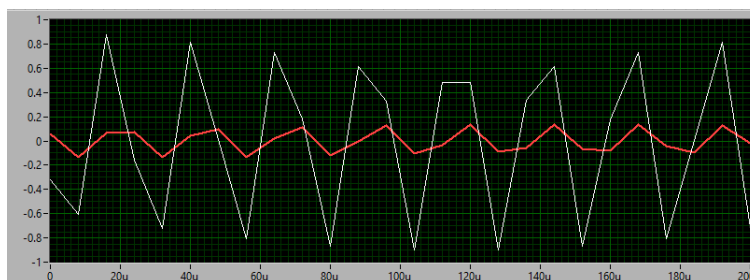
Med merjenjem razdalje naj signal za zvočnik generira osebni računalnik in ga posreduje zvočniku preko NI vmesnika. Ker uporabljamo zvočnik za ultrazvok, je njegova upornost velika in ga lahko poganjamo z vmesnikom brez dodatnega ojačevalnika. Mikrofonski senzor daje signal, ki je pri majhni razdalji relativno velik (do nekaj 100 mV) in ga lahko vzorčimo z istim vmesnikom, dodaten ojačevalnik ni potreben. Bločna shema postavitve poskusa je na sliki 2.



Slika 2: Shema povezav med bloki za ta eksperiment

Izvedba

Z vmesnikom NI USB6211 bomo kontinuirano generirali signal za pogon zvočnika. Za merjenje faze moramo tokrat zajemati tako signal za pogon zvočnika kot tudi signal z mikrofona. Signala imata frekvenco približno 40 kHz, zato je po Nyquistu dopustna frekvenca vzorčenja nad 80 kHz. Žal pri taki frekvenci vzorčenja signal za pogon zvočnika ni niti najmanj sinusne oblike in raje izberimo večjo. Vmesnik zmora do 250000 vzorcev v sekundi. Zajemamo dva signala, zato lahko vzorčimo največ s frekvenco 125 kHz. Izberimo kar to. Na sliki 3 je oscilogram signala za zvočnik in signala z mikrofona. Oba signala sta videti vse prej kot sinusne oblike zaradi redkega vzorčenja; zajemamo le približno tri vzorce v vsaki periodi nihanja, a po Nyquistu to zadošča.



Slika 3: Signal za zvočnik (belo) in signal z mikrofona (rdeče); horizontalna skala v sekundah, vertikalna v voltih

Meritev ponavljamo v »while« zanki. V notranjosti zanke vsakokrat:

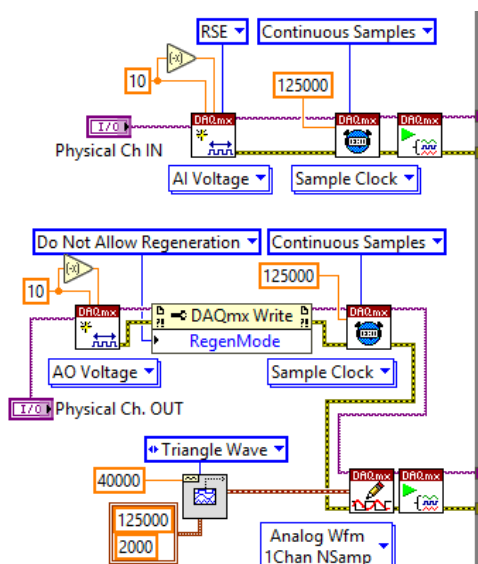
- Pripravimo nov niz vzorcev za zvočnik, ta signal je sinusne oblike, njegova frekvenca je nastavljiva.
- Zajamemo nov niz vzorcev signalov iz zvočnika in mikrofona.
- Izračunamo fazni kot med zajetima signaloma.
- Upoštevamo preskoke faznega kota takrat, ko se mikrofonski signal premakne iz enega intervala (ene valovne dolžine) v naslednjega; takrat se fazni kot spremeni za okoli 2π .
- Preračunamo fazni kot v razdaljo.

Odločiti se je treba še za število vzorcev, ki jih zajamemo po kanalu ob vsaki ponovitvi zanke »while«. Število ni posebej pomembno, morda dobro shajamo s po 1000 vzorci vsakokrat.

Pred zanko, kot običajno, konfiguriramo obe verigi za zajemanje in generiranje signalov preko NI vmesnika, slika 4. Vzamemo lahko kar običajno predlogo za zajemanje in generiranje (»Zgledi programov za zajemanje in generiranje«, slika 9, stran 14 in pripadajoče besedilo).

Zgornji del slike 4 je namenjen konfiguriranju zajema:

- zajemamo na kanalih, ki jih določi uporabnik,
- merilno območje znaša ± 10 V (lahko bi ga zmanjšali), signala zajemamo proti ozemljitvi (RSE),
- signala zajemamo kontinuirano s frekvenco 125 kHz brez presledkov med posameznimi paketi.



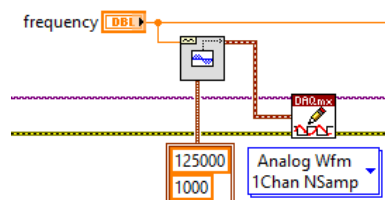
Slika 4: Standardno konfiguriranje vmesnika za hkratno generiranje in zajemanje

Spodnja polovica slike 4 je namenjena konfiguriranju generatorja sinusnega signala:

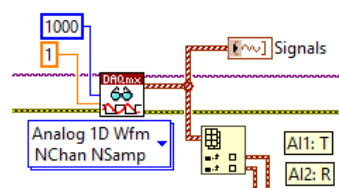
- priključek za generiranje izbere uporabnik,
- območje signala znaša ± 10 V (lahko bi bilo manj)
- signal bomo naračunali ob vsaki ponovitvi zanke »while«, zato »Do Not Allow Regeneration«,
- frekvenca vzorčenja znaša 125 kHz, med paketi generiranega signala naj ne bo presledkov (»Continuous samples«),
- v vmesni pomnilnik natlačimo primerno število začetnih vzorcev (2×1000), oblika ni pomembna.

V zanki »while« je treba implementirati prej naštetih korake od a) do e).

- Generiranje opravimo na običajen način. Najprej pripravimo 1000 vzorcev sinusnega signala pri frekvenci vzorčenja 125 kHz, frekvenco naj izbere uporabnik, slika 5.
- Zajem prav tako opravimo na standarden način, slika 6. Iz vmesnika preberemo 1000 vzorcev za vsakega od dveh merjenih signalov, nanje smo pripravljeni čakati največ 1 s. Oba signala narišemo v graf na zaslonu računalnika in ju združimo v komponenti T (oddajani signal) in R (prejeti signal).

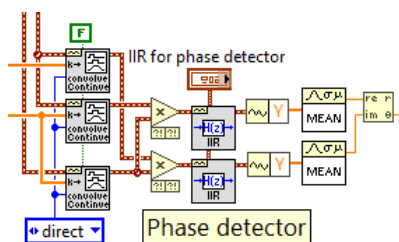


Slika 5: Priprava in pošiljanje sinusnega signala vmesniku NI



Slika 6: Zajem obeh signalov

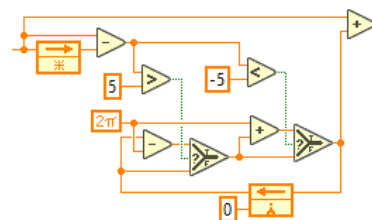
c) Izračun faznega kota med signaloma sledi standardni proceduri, slika 7. Najprej poiščemo za 90 stopinj zasukano verzijo referenčnega signala (z zvočnika), to storimo s pomočjo Hilbertovega transformata. Ker ta operacija zakasni signal za dolžino jedra Hilbertovega transformata, za enak čas zakasni mo še originalni signal z zvočnika in signal z mikrofona. Koeficiente za Hilbertov transform izračunamo le enkrat izven zanke »while«. Dobljene signale med sabo množimo in z IIR filtroma odstranimo komponenti pri dvojni frekvenci (80 kHz). Ker zadošča določanje razdalje nekajkrat v sekundi, dobljena produkta povprečimo in nato iz povprečenih vrednosti določimo trenutni fazni kot med njima.



Slika 7: Določanje faznega kota med dvema signaloma

- d) Ko se mikrofona giblje v mejah ene same valovne dolžine (od njenega začetka do konca), se izračunani fazni kot giblje v okviru od 0 do 2π , torej od začetka 1. kvadranta do konca 4. kvadranta. Ko mikrofona premaknemo prek meje valovne dolžine, se lahko zgodi dvoje:
- Pri odmiku mikrofona prek meje se premaknemo iz 4. kvadranta v 1. kvadrant
 - Pri primiku mikrofona prek meje se premaknemo iz 1. kvadranta v 4. kvadrant

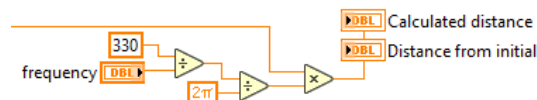
Izračunanemu faznemu kotu je zato takrat treba prišteti (i.) ali odšteti (ii.) 2π in s tem razdalji prišteti ali odšteti λ . Obe možnosti detektiramo tako, da izračunamo razliko med faznim kotom, ki smo ga določili v tem obhodu zanke in faznim kotom, kot smo ga določili v prejšnjem obhodu. Če je razlika negativna in blizu -2π , je prišlo do situacije i) in je zato treba trenutno določenemu faznemu kotu prišteti 2π . Če je razlika pozitivna in blizu 2π , je prišlo do situacije ii) in je zato treba trenutno določenemu faznemu kotu odšteti 2π . Ustrezen košček programa Labview je na sliki 8; vrednost »blizu 2π « je zamenjana s 5.



Slika 8: Korekcija faznega kota zaradi prehoda prek obsega ene valovne dolžine

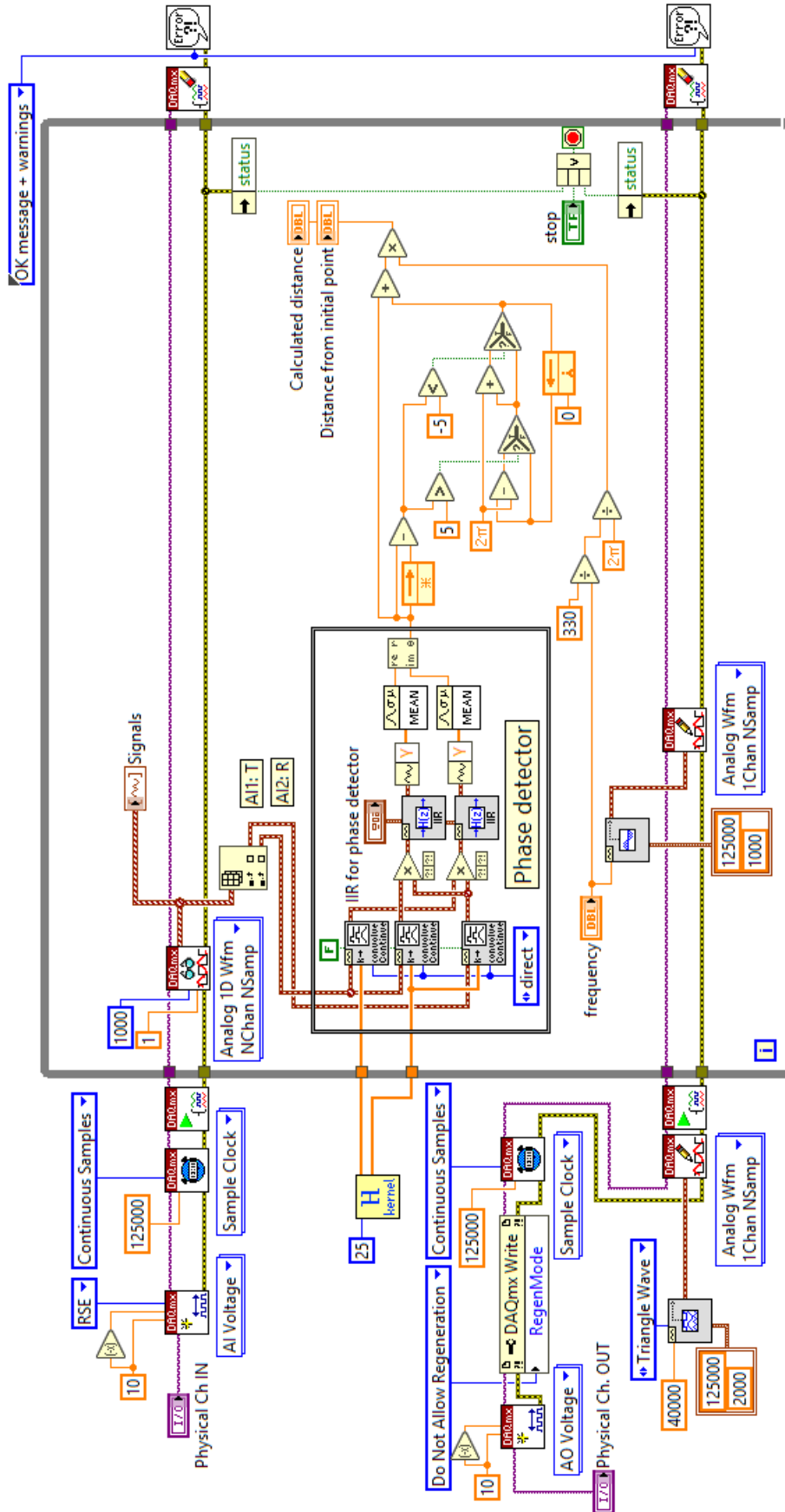
- e) Končni preračun faznega kota φ v razdaljo je na sliki 9. Iz frekvence signala za zvočnik najprej izračunamo valovno dolžino λ in potem izračunamo razdaljo d kot:

$$d = \lambda \frac{\varphi}{2\pi}$$



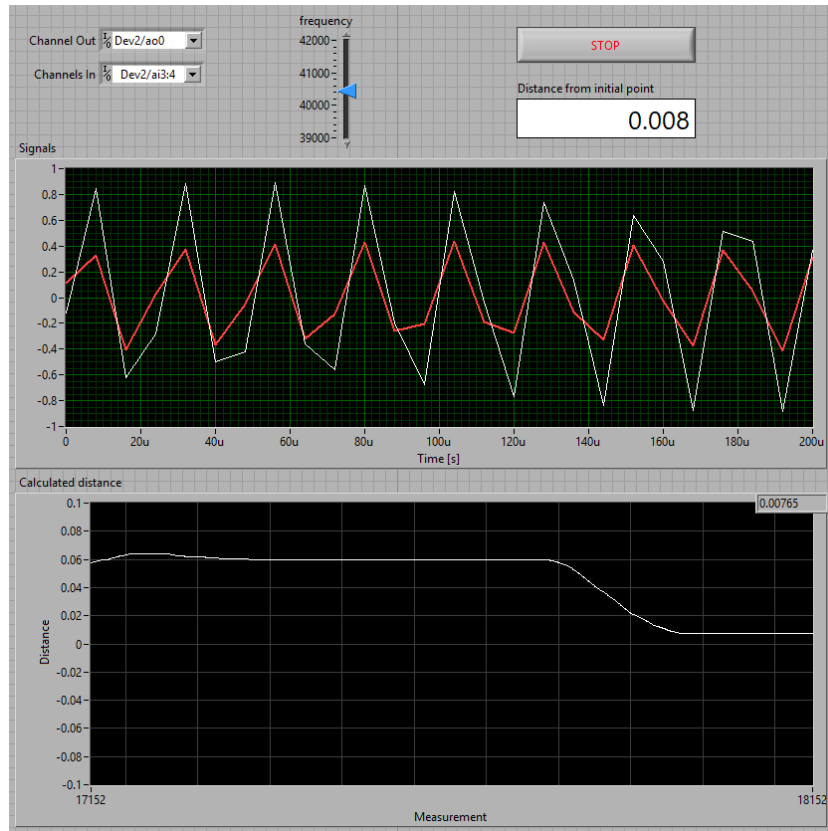
Slika 9: Preračun faznega kota v razdaljo

Celoten program je na sliki 10, zgled za uporabniški vmesnik pa na sliki 11.



Slika 10: Program Labview

Merjenje razdalje z ultrazvokom – meritev faze



Slika 11: Primer uporabniškega vmesnika