

Merjenje amplitude signala znane frekvence – globina vode

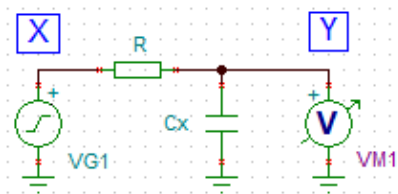
Relativna dielektrična konstanta ϵ_r znaša okoli 80 in je le malo odvisna od čistosti vode. Če sestavimo kondenzator tako, da je med izoliranimi ploščama voda, je njegova kapacitivnost močno odvisna od višine h , do katere sega voda med ploščama kondenzatorja. Na sliki 1 je primer takega kondenzatorja. Njegova kapacitivnost znaša okoli 15 pF brez vode med ploščama in okoli 1200 pF takrat, ko voda sega do polovice njegove višine. Za določanje nivoja vode torej potrebujemo merilnik kapacitete kondenzatorja, iz odčitka merilnika pa lahko preračunamo nivo vode med ploščama.



Slika 1: Kondenzator za merjenje višine vode

Spreminjanje kapacitivnosti merilnega kondenzatorja za dve dekadi z začetkom pri deset pF zahteva merjenja pri velikih frekvencah, ki jih vmesnik NI USB6211 ne zmore. Zato se pretvarjamo, da je merilni kondenzator vedno do približno polovice potopljen v vodo, dodatno pa ga potapljam še do vrha. Pretvarjanje dosežemo tako, da vzporedno merilnemu kondenzatorju vežemo še en stalen kondenzator s kapacitivnostjo 470 pF, merilni kondenzator pa spet potapljam v vodo samo do polovice. Kombinaciji obeh kondenzatorjev $C(h)$ se zdaj kapacitivnost spreminja od približno 500 pF za suh merilni kondenzator do 1700 pF za do polovice potopljen merilni kondenzator.

Kondenzator lahko uporabimo v RC členu, slika 2. Če tak člen vzbuja s sinusno napetostjo stalne amplitude in frekvence, je amplituda signala na izhodu odvisna od časovne konstante $\tau = RC$. Odvisnost amplitude izhodnega signala je na sliki 3. Če izberemo za vhodni signal frekvenco, ki je nekaj-kratnik prelomne frekvence takega RC člena (puščica na sliki 3, rjava sled velja za $R = 1 \text{ M}\Omega$ in $C(h) = 500 \text{ pF}$), se amplituda izhodnega signala zmanjša na tretjino prvotne vrednosti pri povečanju kapacitivnosti kondenzatorja za trikrat, saj se karakteristika takrat pomakne za tretjino dekade po frekvenci v levo, zelena sled. Spreminjanje ni linearno, amplituda izhodnega signala RC člena sledi izrazu:

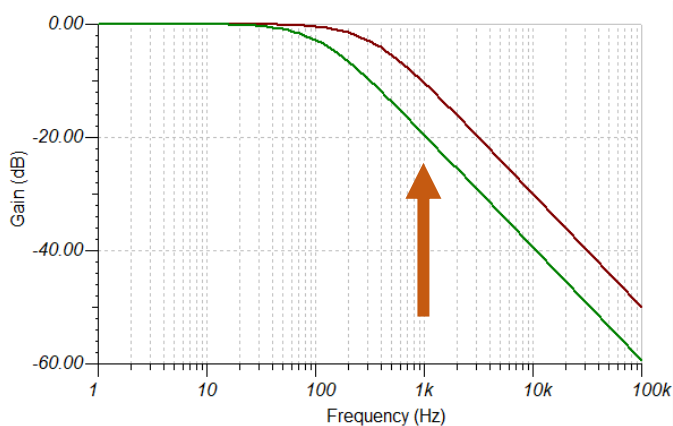


Slika 2: RC člen

$$y_{ampl} = x_{ampl} \cdot \frac{1}{2\pi f R} \cdot \frac{1}{C(h)}$$

Računalnik iz izmerjene amplitude zlahka izračuna še višino vode med ploščama kondenzatorja.

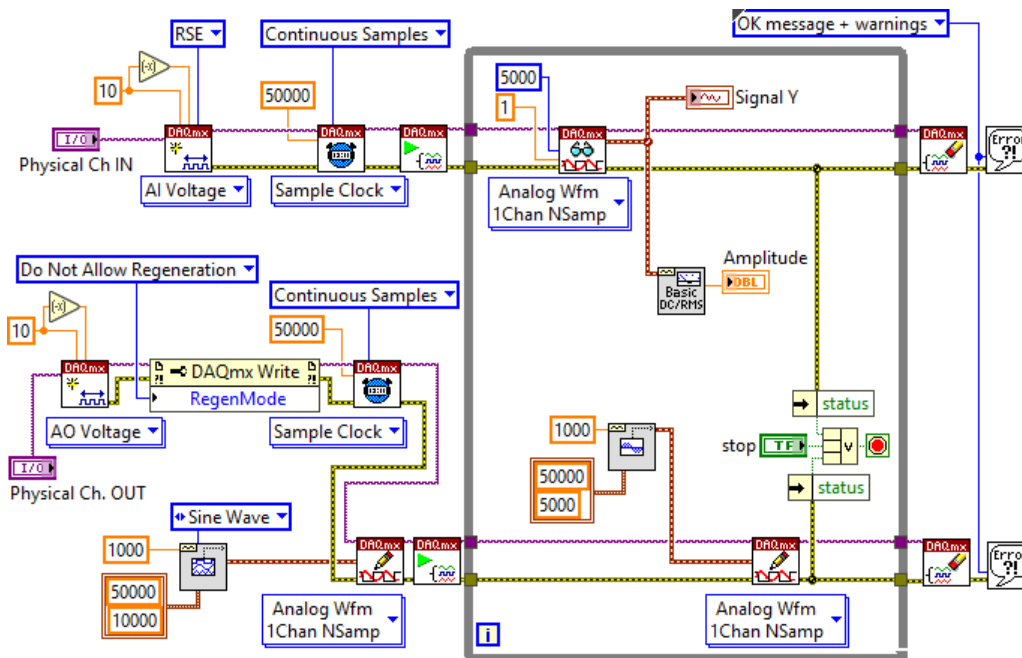
Smiselna frekvenca za merjenje znaša torej okoli 1 kHz, po Nyquistu mora frekvenca vzorčenja znašati vsaj 2 kHz. Žal so signali pri tako redkem vzorčenju dvakrat v periodi brez



Slika 3: Amplitudna karakteristika RC člena


filtriranja na oko neprijetni, zato izberemo bistveno večjo frekvenco, morda okoli 50 kHz. V eni periodi opazovanega signala imamo zato 50 vzorcev, kar zagotavlja dovolj dobro sliko signalov.

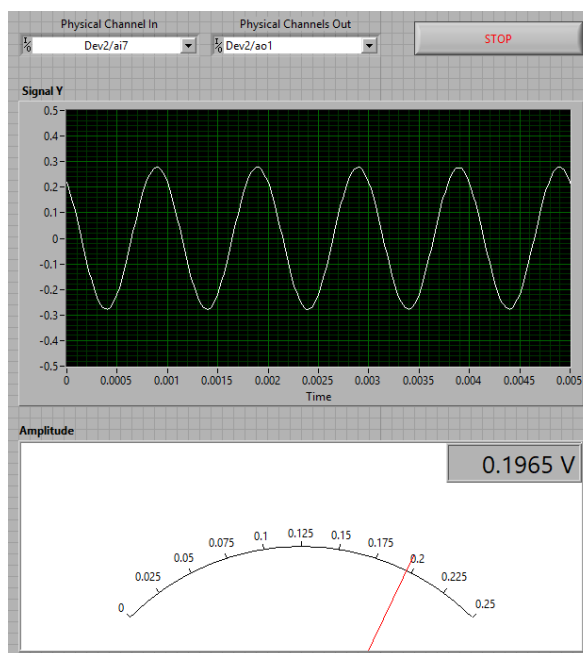
Vzbujalni signal X lahko generira NI vmesnik. V programu potrebujemo zato dve verigi: v eni opravimo z generiranjem signala X , v eni pa z zajemom izhodnega signala RC člena Y in njegovo obdelavo; uporabimo lahko standardni vzorec programa za zajemanje in generiranje. V spodnjo vejo umestimo generator za signal X , v zgornjo pa zajemanje. Izberemo še primerno frekvenco vzorčenja in dodamo



Slika 4: Zgled programa za merjenje amplitude sinusnega signala

na zaslon računalnika graf za prikaz signala Y ter se prepričamo v spreminjanje amplitude signala zaradi pomakanja kondenzatorja v vodo.

V naslednjem koraku je na vrsti določanje amplitude signala Y . Za začetek lahko uporabimo kar blok za merjenje amplitude (), ki je v standardnem naboru blokov programskega okolja Labview. Če zajeti signal Y vsebuje motnje, se zdi smiselno pred določanjem amplitude signala uporabiti pasovno-prepustni filter s primernima mejnima frekvencama. Zgled za program je na sliki 4. Opozorimo naj, da v Labview vgrajeni blok za določanje amplitude signala daje informacijo o amplitudi le enkrat na niz vzorcev, ki jih sprejme. V našem primeru je to deset-krat v sekundi. Za določanje nivoja vode to popolnoma zadošča, pri naslednjih vajah pa s tako poredko določenim rezultatom marsikdaj ne bomo zadovoljni.



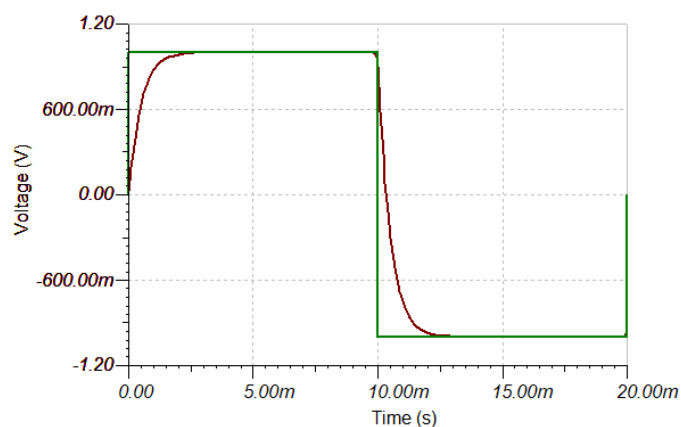
Slika 5: Zgled uporabniškega vmesnika za program s slike 4

Merjenje na ta način daje dobre rezultate, a so potrebne frekvence vzorčenja relativno velike, zato je vodilo USB precej zasedeno. Za nameček je nivo vode nelinearno odvisen od amplitude in potrebna je kalibracija merilnika. Morda se lahko z drugačnim načinom merjenja ognemo opisanim težavam.

Če na opisani RC člen priključimo signal X pravokotne oblike, se izhodni signal Y eksponentno približuje končni vrednosti signala X . Slika pojava je na sliki 6. Približevanje signala Y signalu X po padajočem robu signala X opisuje formula (sam dodaj primerne konstante):

$$Y = X \cdot e^{-t/RC}$$

V času $t = \tau = RC(h)$ pade izhodni signal Y na 0.367879 prvotne vrednosti Y . Obrnimo drugače: če nam uspe pomeriti čas, ki je potreben da izhodni signal Y pade na 0.367879 prvotne vrednosti, poznamo τ , ta pa je sorazmeren kapaciteti potopljenega kondenzatorja $C(h)$ in torej nivoju vode. Določanje nivoja vode se torej reducira na iskanje časovne konstante τ upadajočega dela eksponentno upadajočega dela signala Y , ki je posledica praznjenja potopljenega kondenzatorja.



Slika 6: Odziv RC člena (rjava sled, Y) na pravokotno vzbujanje (zelena sled, X)

Ta efekt lahko opazujemo tudi brez računalnika. Člen RC moramo le napajati s pravokotnim signalom s funkcijskega generatorja in opazovati izhodni signal tega člena med tem, ko ga pomakamo v vodo. Padajoči del je počasnejši, če je kondenzator potopljen v vodo, čas do padca napetosti 0.367879 prvotne vrednosti pa narašča enakomerno s potapljanjem kondenzatorja. Enakovredno lahko opazujemo tudi čas τ' , ki je potreben, da izhodna napetost RC člena prečka nič.

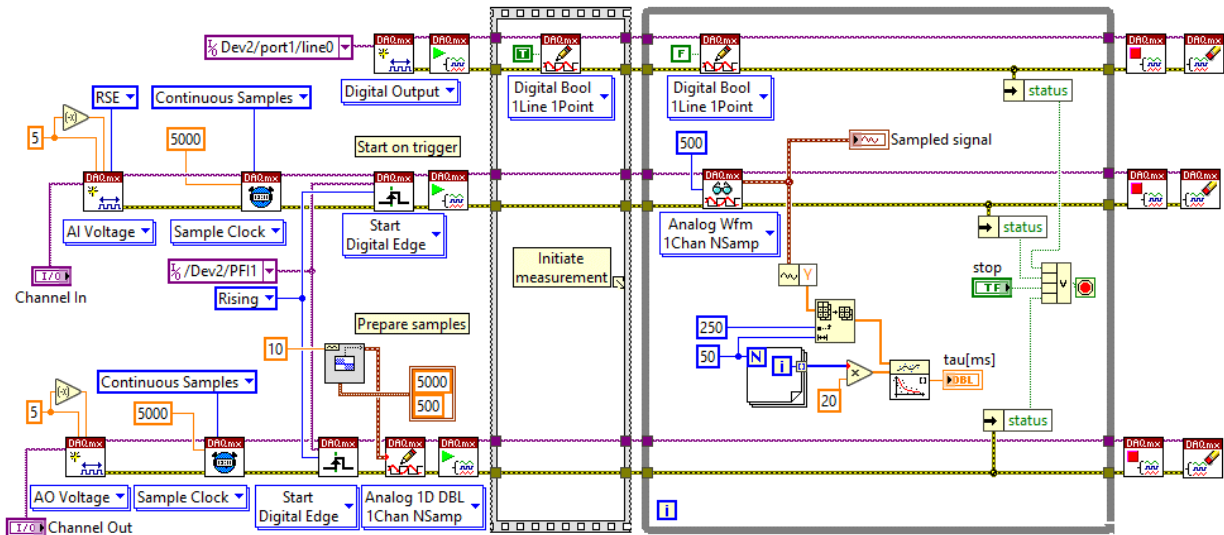
Izbrati je treba primerno frekvenco pravokotnega signala za vzbujanje X . Pri prej navedenem RC členu je časovna konstanta za polno potopljen kondenzator približno $\tau = RC = 1 \text{ M}\Omega \cdot 1500 \text{ pF} = 1,5 \text{ ms}$, za suh kondenzator pa približno 0,5 ms. Ker se mora potopljeni kondenzator popolnoma sprazniti v pol-periodi pravokotnega signala, mora ta pol-perioda trajati vsaj $5 \cdot \tau = 7,5 \text{ ms}$, frekvenca signala X naj bo zato manj kot 50 Hz. V priloženem programu je izbrana še nižja frekvenca, to je 10 Hz.

Izberimo še frekvenco vzorčenja. Ta mora biti dovolj velika, da padajoči rob ob praznjenju kondenzatorja otipamo v nekaj deset točkah; pri tako pogostem vzorčenju bo mogoče iz zajetih točk izračunati časovno konstanto upadanja. V 0.5 ms je torej treba vzeti vsaj kakih pet vzorcev, zato mora biti frekvenca vzorčenja vsaj okoli 5 kHz. Taka frekvenca vzorčenja je izbrana tudi v programskem zgledu, ki je na sliki 7. Pri tako izbranih parametrih generiramo in zajamemo natanko eno periodo v 500 vzorcih, zato bomo vsakokrat v nizu zajemali tako število vzorcev.

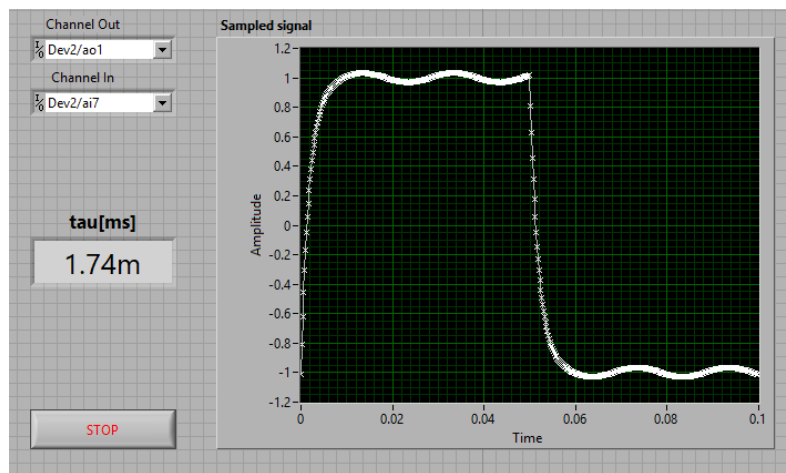
Za osnovo programskega zglada uporabimo predlogo za sinhrono generiranje in vzorčenje. Pri tej je generirani signal vedno enako poravnani z zajetim signalom, zato napetost na merilnem kondenzatorju pri vsaki meritvi začne upadati ob 250-tem izmerku v nizu. Če bi uporabili navadno predlogo, bi ob vsakem zagonu programa signal na merilnem kondenzatorju začel upadati ob drugem trenutku in v programu bi se morali potruditi ta trenutek najti. Ob sinhroni verziji programa to ni potrebno.

V glavni zanki torej zajamemo po 500 vzorcev in jih za zgled pokažemo na ekranu, slika 8. Na tej sliki se je zajetim vzorcem pridružila še motilna komponenta s frekvenco 50 Hz, kar pa izračuna ne moti

preveč. Izmerki bi lahko brez motilen komponente, če bi merilni kondenzator vtaknili v elektro-statski oklep (Faraday-eva kletka). Zajetim vzorcem bomo poiskali najbolj prilagojeno eksponentno krivuljo (»best fit«), blok za to je na voljo v matematični knjižnici Labview. Ta blok potrebuje običajno polje vrednosti, zato iz skupka »waveform« izluščimo polje in to polje, skupaj s pravimi časovnimi značkami, pošljemo bloku v obdelavo ter izračunano časovno konstanto prikažemo na zaslonu.



Slika 7: Merjenje časovne konstante upadanja signala – programski vmesnik



Slika 8: Merjenje časovne konstante upadanja signala – uporabniški vmesnik