

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Рачунарска техника и софтверско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Аутоматско управљање

Број индекса: 559/2015

Ирена В. Стојановић

**Мерач фреквенције
реализован на Ардуино платформи**

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Мина Васковић Јовановић, доцент

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да изврши разматрање могућности реализације мерача фреквенције на платформи Ардуино УНО. Поред мерења фреквенције, потребно је размотрити могућност вишеканалног мерења фреквенција као и могућност реализације кумулативног броја импулса који може представљати пређени пут, број произведених артикала и сл. Резултате мерења је потребно приказати на дисплеју. Развијање софтвера за реализацију функције мерења фреквенције.

Препоручена литература:

[1] Бранко Ковачевић, Жељко Ђуровић, Срђан Станковић: Сигнали и системи, Академска Мисао, Београд 2008.

[2] AVR205: Frequency Measurement Made Easy with Atmel tinyAVR and Atmel megaAVR

<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/doc8365.pdf>

[3] Ранко Бабић: Анализа сигнала 1, Академска Мисао, Београд 2000.

[4] Бранко Ковачевић, Жељко Ђуровић: Дигитални сигнали и системи, Академска Мисао, Београд 2004.

[5] Matthew Sadiku, Warsame Ali: Signals and Systems, CRC Press, 2015

Ментор:

Крагујевац, 15. 05. 2019.

Др Мина Васковић Јовановић, доцент

Садржај:

<u>1.</u>	<u>Увод</u>	<u>6</u>
<u>2.</u>	<u>Сигнали.....</u>	<u>7</u>
2.1.	Класификација сигнала.....	8
2.1.1.	Дискретни и континуални сигнали	8
2.1.2.	Аналогни сигнали	9
2.1.3.	Дигитални сигнали	10
2.1.4.	Периодични и аperiodични сигнали	11
2.1.5.	Парни и непарни сигнали	11
<u>3.</u>	<u>Мерење фреквенције</u>	<u>13</u>
3.1.	Директно мерење фреквенције	14
3.2.	Реципрочно мерење фреквенције	15
<u>4.</u>	<u>Мерач фреквенције.....</u>	<u>16</u>
4.1.	Аналогни мерач фреквенције.....	16
4.2.	Дигитални мерач фреквенције	17
<u>5.</u>	<u>Реализација мерача фреквенције.....</u>	<u>18</u>
5.1.	Реализација софтвера (firmware-a)	21
5.2.	Резултати експерименталних мерења	24
<u>6.</u>	<u>Закључак.....</u>	<u>30</u>
<u>7.</u>	<u>Литература.....</u>	<u>31</u>
<u>8.</u>	<u>Списак слика</u>	<u>34</u>
<u>9.</u>	<u>Списак табела.....</u>	<u>35</u>

Summary:

In this paper, the topic of the frequency meter implemented on the Arduino platform will be covered. An Arduino Uno board was used for realization. A signal generator was used to generate the signal that would be fed to the microcontroller input. Frequency measurement was realized by the method of reciprocal frequency measurement. The measurement results are displayed on the LCD. The source code is implemented in the Arduino IDE development environment.

Keywords: frequency meter, signal generator, reciprocal frequency measurement, Arduino, LCD, Arduino IDE

Резиме:

У овом раду биће обрађена тема мерача фреквенције реализованог на Ардуино платформи. За реализацију је коришћена плоча Ардуино Уно. Генератор сигнала је коришћен за генерисање сигнала који ће се доводити на улаз микроконтролера. Мерење фреквенције је реализовано методом реципрочног мерења фреквенције. Резултати мерења су приказани на LCD дисплеју. Изворни код је реализован у развојном окружењу Arduino IDE.

Кључне речи: мерач фреквенције, генератор сигнала, реципрочно мерење фреквенције, Ардуино, LCD, Ардуино развојно окружење

1. Увод

Мерење је процес повезивања бројева са физичким величинама и појавама. Мерење представља основу у науци, за инжењеринг, изградњу, свакодневне активности итд. У систему за мерење и контролу, циљни објекат је једнак објекту за мерење.

У инжењерингу, мерење је потребно из више разлога, али ручно мерење може бити дуготрајно и непрецизно када су величине које се мере обимне и брзо се мењају током времена. У таквим ситуацијама је ручно мерење мање пожељно од мерења помоћу електронских кола. Постоје различите врсте мерача фреквенције, дигитални или аналогни облици. Неки инструменти као што је осцилоскоп се обично користе за мерење различитих фреквенцијских опсега. Осцилоскоп може да мери широк опсег фреквенција.

Друга врста мерних инструмената за мерење фреквенције користи се за мерење радио-фреквенцијског опсега. Различити уређаји који су универзални бројачи времена могу се користити за мерење фреквенције и временских интервала, али се могу користити само за тачно мерење ниских фреквенција уместо мерача фреквенција.

Дигитални мерачи фреквенције су флексибилнији и прецизни инструменти. Фреквенције од реда Hz до реда GHz могу се мерити дигиталним бројачима.

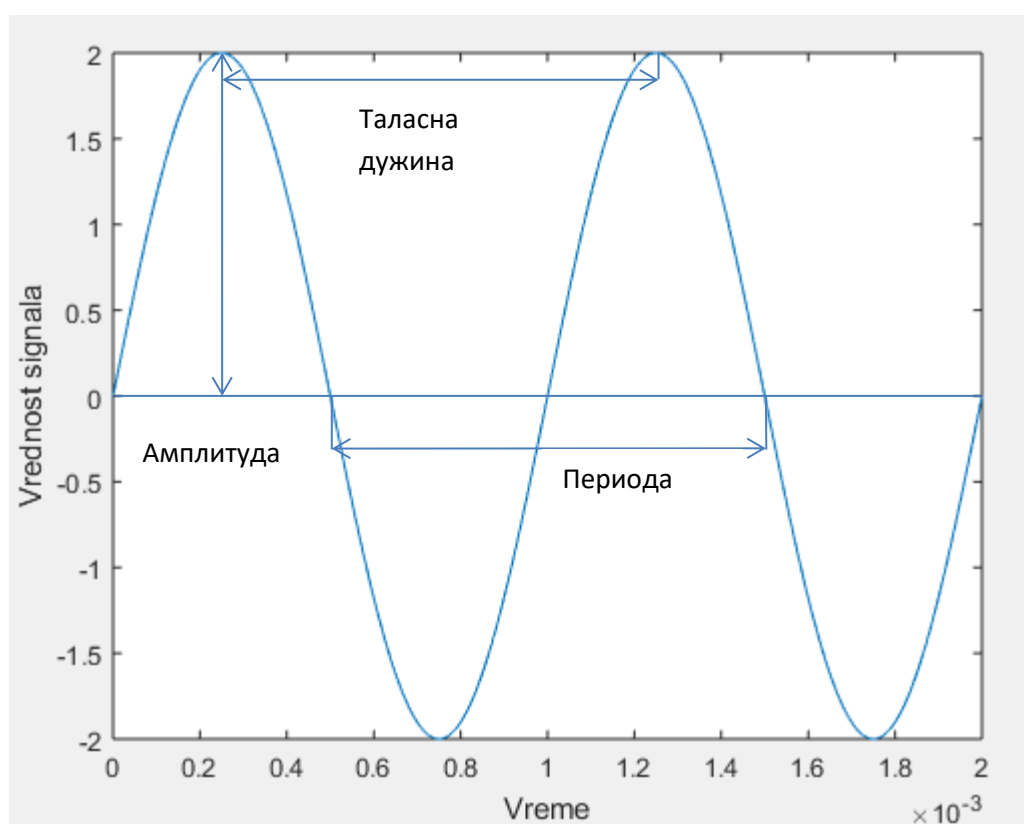
Такође ће бити описани сигнали, као и њихова подела. Као улазни сигнал чија ће се фреквенција мерити, користиће се дигитални, континуални, периодични и парни сигнал.

У овом раду ће детаљно бити описан рад мерача фреквенције, као и његова реализација на платформи Ардуино Уно. Сам мерач ће бити реализован на два начина, један за реципрочно мерење фреквенције и други за мерење времена односно рачунања периоде.

2. Сигнали

Сигнали се налазе у готово свим областима технике и науке, као што су: телекомуникације, сеизмологија, био-медицинска истраживања, системи управљања, итд. Сигнал је промена напона или струје кроз преносни медијум. Сам сигнал је носилац информација и његова главна улога је да поруку пренесе од извора сигнала до његовог одредишта.

Електрични сигнал је временски зависна величина. Саме информације које сигнал носи се крију у промени вредности тог сигнала током времена. Та промена сигнала може бити узрокована променом напона или струје.



Слика 1: Особине сигнала

На слици 1 су приказане особине сигнала. Таласна дужина представља пут који сигнал (талас) пређе за један период. Амплитуда је максимална вредност коју сигнал може да достигне. Једна пуна осцилација је важна карактеристика сигнала, јер фреквенција представља број пуних осцилација у секунди. X оса представља време, док у оса представља вредности сигнала [1].

Период (T) је време које је потребно да се изврши једна пуна осцилација. Фреквенција (f) је обрнуто пропорционална периоду ($1/T$). Ако је период, на пример, $T=0.01$ s, онда

је то време за које се изврши једна пуна осцилација. Ако се подели 1 са тим бројем, добиће се 100. Дакле, фреквенција $f=100(1/s)=100\text{Hz}$. Hz (Херц) је јединица за учестаност, односно фреквенцију.

2.1. Класификација сигнала

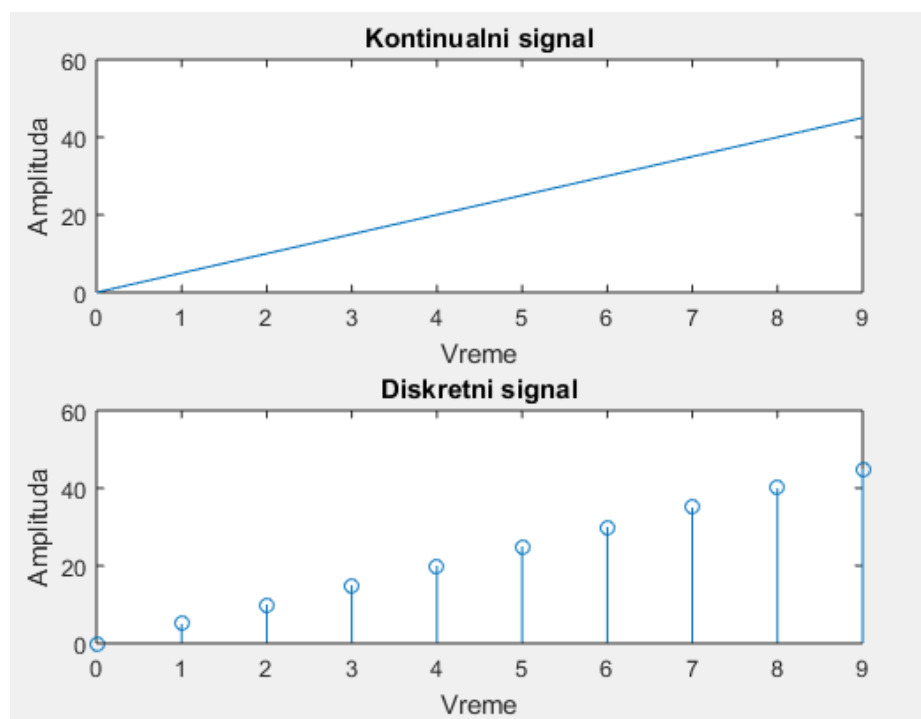
У овом делу ће бити описани само неки од многобројних начина класификације сигнала. Сигнали могу бити континуални (непрекидни) или дискретни, аналогни или дигитални, периодични или аперидични, детерминистички или случајни, итд. Постоје и други начини за класификацију сигнала, као што су на пример ограничење и континуитет. Главна подела сигнала је на аналогне и дигиталне сигнале [2].

2.1.1. Дискретни и континуални сигнали

Велики број информација настаје у облику континуалних промена неке величине, односно сигнала електричне или неелектричне природе. Пример такве информације је температура. Континуални сигнали могу имати било коју вредност у једном одређеном опсегу промене, односно број вредности коју сигнал може да поседује је неограничен.

Неке информације, уместо неограниченог броја вредности, могу да поседују само одређене вредности у једном опсегу промена посматраног сигнала. Такви сигнали испољавају дисконтинуалне промене од једне до друге вредности. Сигнали дискретни у времену су дефинисани у неким временским тренуцима [14].

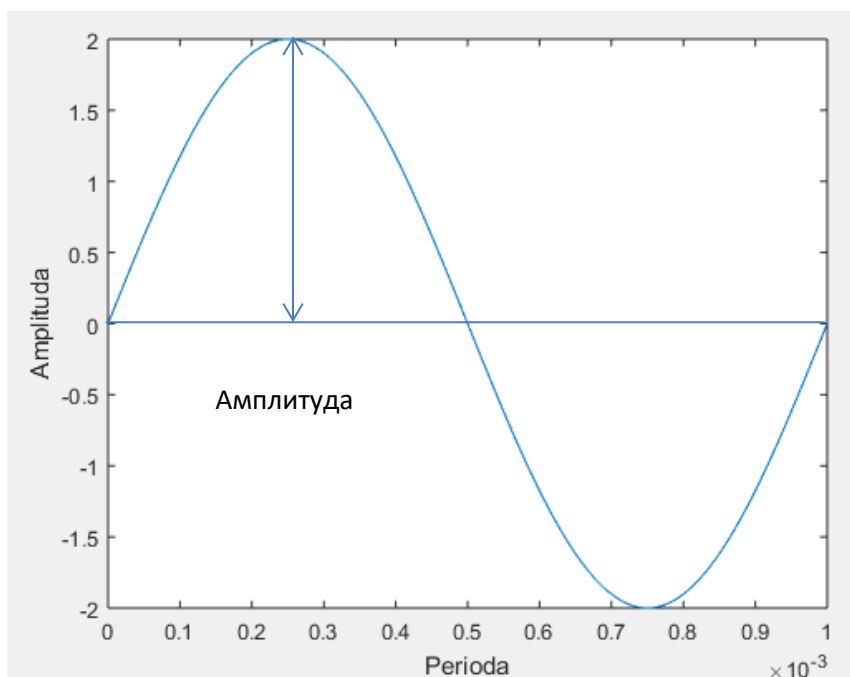
На слици 2 су приказани дискретни и континуални сигнал.



Слика 2: Дискретан и континуалан сигнал

2.1.2. Аналогни сигнали

Аналогни сигнал је једна врста континуалних сигнала који се мењају током времена и они се класификују у композитне и једноставне сигнале. Једноставна врста аналогног сигнала није ништа друго него синусни талас и он се не може разградити, док се композитни аналогни сигнал може разградити у бројне синусне таласе. Аналогни системи омогућавају да се прикаже теоретски бесконачан број вредности. Сигнал може постићи било коју вредност унутар параметара који управљају системом. Иако се ови сигнали могу ограничити на опсег максималних и минималних вредности, још увек постоји неограничен број могућих вредности унутар тог опсега. Сви аналогни сигнали се могу дефинисати помоћу амплитуде, периоде или фреквенције, и фазе. Амплитуда представља највећу вредност сигнала, фреквенција наглашава брзину којом се аналогни сигнал мења, а фаза одређује положај сигнала у односу на почетни временски тренутак. Аналогни сигнал није отпоран на шум; суочава се са дисторзијом и смањује квалитет преноса [3]. Аналогни сигнал је приказан на следећој слици.



Слика 3: Пример аналогног сигнала

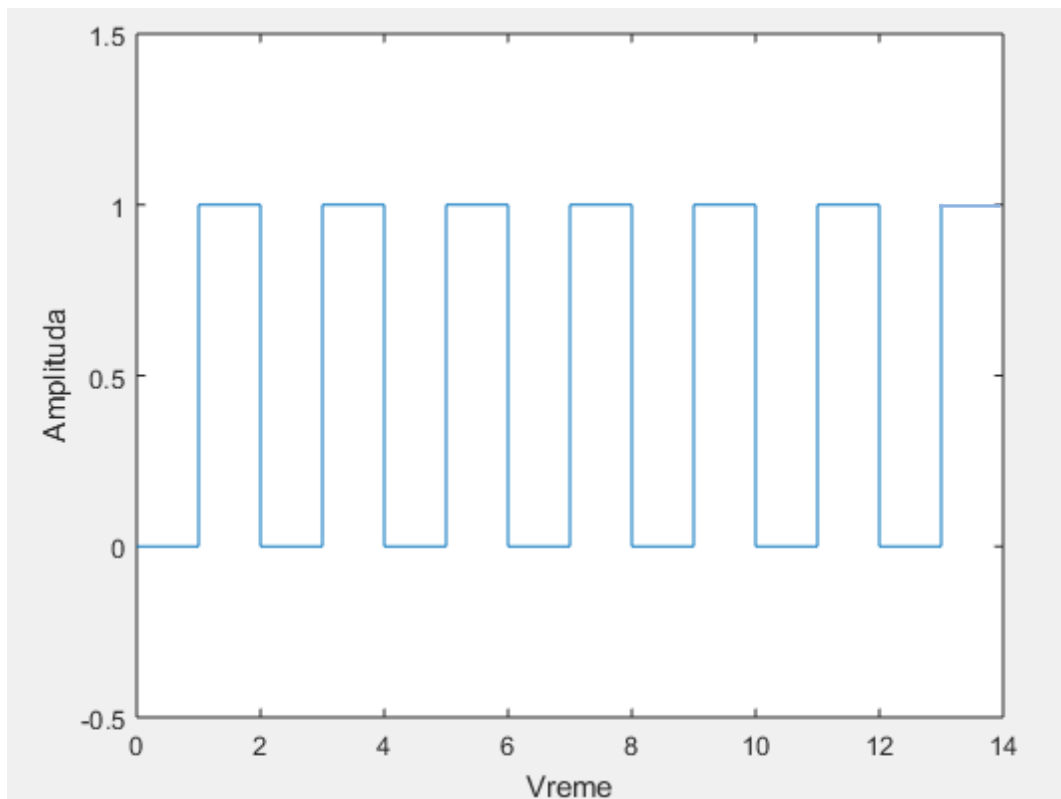
Примери где се користе аналогни сигнали:

- 1) Уређаји за фотокопирање
- 2) Фиксна телефонија
- 3) Аудио траке
- 4) Аналогна телевизија- информације о интензитету и боји по линији скенирања, итд.

2.1.3. Дигитални сигнали

Једну класу аналогних сигнала представљају импулсни сигнали. Импулсни сигнали имају особину да им се амплитуда може нагло мењати, па сигнал у неким случајевима не може имати било коју вредност амплитуде из дозвољеног интервала. Примери импулсних сигнала су периодичне или аperiodичне поворке правоугаоних, тестерастих или троугаоних функција.

Дигитални сигнали су једна ужа класа импулсних сигнала који имају само неколико дозвољених амплитудских нивоа. Ови сигнали се могу разградити у синусне таласе (хармоники). Дигитални сигнали, као и аналогни, имају амплитуду, фреквенцију и фазу. Такође, овај сигнал се може дефинисати интервалом бита и брзином бита. Интервал бита је време које је потребно да протекне при преносу само једног бита, док је брзина бита фреквенција интервала [4].



Слика 4: Пример дигиталног сигнала

Најчешће се користе бинарни дигитални сигнали, где су дефинисана само два напонска нивоа. Обично се уместо напонских нивоа дефинишу напонски опсези који се интерпретирају као логичка јединица или логичка нула [16]. Пример једног дигиталног сигнала је приказан на слици 4.

Примери где се користе дигитални сигнали:

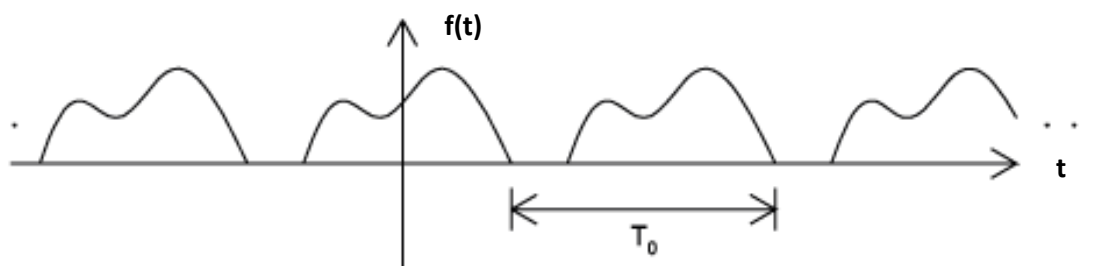
- 1) Рачунари
- 2) Дигитални телефони
- 3) Дигиталне оловке итд.

2.1.4. Периодични и аperiодични сигнали

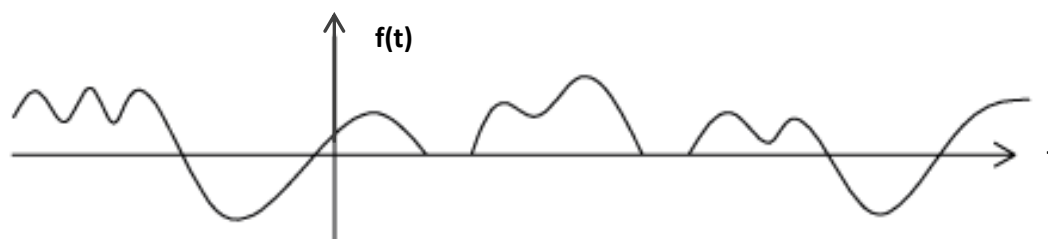
Периодични сигнали се понављају са одређеном периодом T , док аperiодични сигнали немају понављања. Периодични сигнал је представљен помоћу следеће функције 1, при чему t може бити било који реалан број, а T је реална позитивна константа:

$$f(t) = f(t + n \cdot T) \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Основна периода функције $f(t)$ је најмања вредност T за коју важи једначина 1. [6]. На слици 5 је приказан периодичан сигнал, док је на слици 6 приказан аperiодични сигнал.



Слика 5: Периодичан сигнал са периодом T_0 [17]



Слика 6: Аperiодични сигнал [17]

2.1.5. Парни и непарни сигнали

Једна од карактеристика сигнала је симетрија која може бити корисна за анализу сигнала. Парни сигнали су симетрични око вертикалне осе, а непарни сигнали су основно симетрични у односу на координатни почетак. Непарни сигнал мора бити 0 за $t = 0$

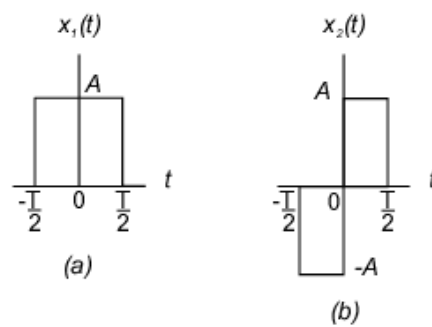
[15]. На слици 7а је приказан парни сигнал, док је на слици 7б приказан непарни сигнал.

Сигнал је паран ако важи:

$$x(t) = x(-t) \quad (2)$$

Сигнал је непаран ако важи:

$$x(t) = -x(-t) \quad (3)$$

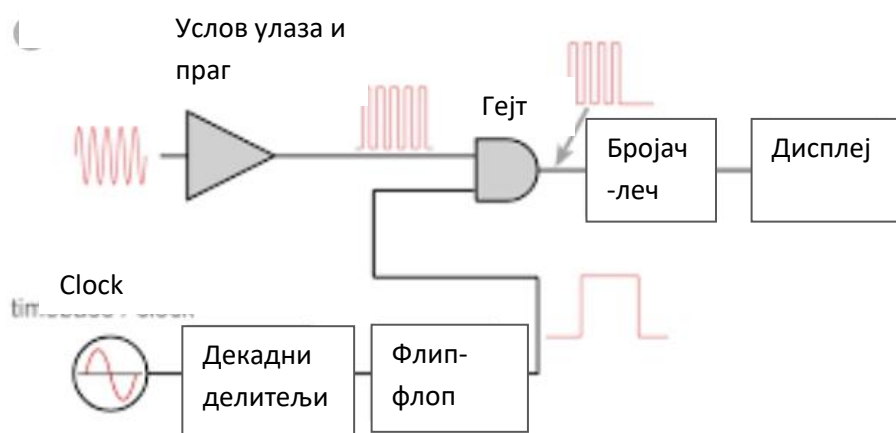


Слика 7: Парни и непарни сигнал [18]

За реализацију овог дипломског рада ће се користити дигитални сигнали који су континуални по времену, периодични и парни.

3. Мерење фреквенције

Мерење фреквенције може бити релизовано на више начина као што су: бројањем, помоћу стробоскопа и помоћу бројача фреквенције. Овде ће се користити бројач фреквенције, чији је принцип рада приказан на слици 8.



Слика 8: Принцип рада мерача фреквенције [9]

Унутар основног бројача налази се неколико главних блокова:

- Улаз: На самом улазу у бројач фреквенције налази се улазно појачало. У улазном појачалу се низ електричних импулса, који могу бити сличних али и различитих облика, претвара у низ логичких правоугаоних импулса истих таласних карактеристика, који су погодни за обраду у осталим дигиталним колима бројача. Улазно појачало се састоји од Schmitt-Trigger кола чија је главна карактеристика да улазни шумови не могу да генеришу лажне импулсе и тиме утичу на резултат мерења. Иако код многих бројача постоји могућност да се улазни параметри Schmitt-Trigger кола, као што су ниво улазног сигнала и праг осетљивости, ручно се подешавају, на великом броју уређаја се то постиже аутоматски. Треба имати на уму, међутим, да високи нивои улазног сигнала могу трајно да оштете инструмент, због чега се треба придржавати фабричких упутстава за употребу и пратити упозорења која су одштампана на кућишту инструмента.
- Прецизна временска база / Clock: Да би се омогућила различита мерења на бројачу, у различитим временским и фреквентним оквирима, неопходна је прецизна и стабилна временска база или Clock (сат). То је најчешће кристални осцилатор. Многи мерни инструменти имају могућност прикључивања на екстерни високо квалитетни осцилатор, или могућност прикључивања других инструмената на један унутрашњи осцилатор. Ово последње је нарочито корисно када је потребно да неколико инструмената истовремено има исте подразумеване почетне вредности.

- Декадни делитељи и Флип-флоп: За дефинисање управљачког временског интервала у коме ће Гејт (енгл. Gate, Капија) бити отворен за пролазак импулса улазног сигнала користи се Clock(Такт) осцилатор. Временски интервал се из Clock-а добија помоћу декадних делитеља фреквенције и преко логичког флип-флоп кола доводи се на управљачки улаз на гејт-у, чиме се омогућава да исти проследи улазне импулсе на свом главном излазу.
- Гејт (енгл. Gate, Капија): Логичка јединица којој се на један улаз доводи временски управљачки сигнал, а на други низ импулса мереног сигнала. Резултат на главном излазу гејта је низ импулса у тачно дефинисаном временском интервалу. На пример, ако долазни сигнал има фреквенцију од 1 MHz-а, а гејт је био отворен у интервалу од једне секунде, на главном излазу ће се појавити 1000000 импулса.
- Бројач: Бројач преузима импулсе са главног излаза гејта. Састоји се од низа узастопних фаза дељења са 10. Почетни број импулса се подели са 10, резултат се додељује одговарајућој цифри на дисплеју, а затим прослеђује наредној фази дељења. Тако имамо да је изворни сигнал у првој фази подељен са 10, у наредној са 100 итд. Излаз са бројача се затим прослеђује дисплеју [8].
- Дисплеј: Преузима излаз са бројача и приказује га у декадном формату. Најчешће се користе LCD или LED дисплеји. Свакој декадној вредности одговара једна цифра. Дисплеји могу да се користе и за приказ других различитих релевантних информација.

Постоје две методе за мерење фреквенције помоћу бројача фреквенције: директно мерење фреквенције и реципрочно мерење фреквенције. За коришћење било ког од ова два метода, потребно је осцилаторно коло засновано на времену (на временској бази). Што је већа стабилност и прецизност овог кола, бољи су резултати мерења. Учестаност овог кола ће одредити различите параметре резултата мерења, у зависности од метода који се користи [9].

3.1. Директно мерење фреквенције

Директни бројачи једноставно броје циклусе сигнала током познатог временског периода. Овај период је познат и као време гејта. Резултат бројања се шаље директно на читавање бројача ради приказивања резултата. Ова метода је једноставна и јефтина, али је резолуција директног бројача ограничена на ред херца и тачност одбројавања је нижа од тачности бројача реципрочне фреквенције.

На пример, са временом пролаза (гејта) од 1 секунде, најмања фреквенција коју бројач може да открије је 1 Hz, будући да је један циклус сигнала у једној секунди једнак 1 Hz. Према томе, ако се мери сигнал од 10 Hz, најбоља резолуција која се може очекивати за време гејта од 1 секунде је 1 Hz (или 2 приказане цифре). На дисплеју ће бити приказане две цифре јер ће бројач, коме је прослеђен број импулса од стране

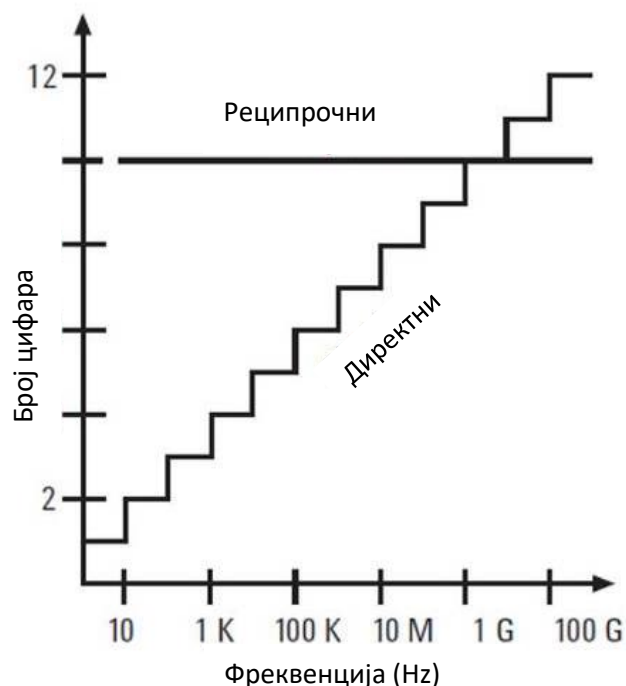
гејта, делити број импулса са 10, а у следећој фази са 100. Како се вредности бројача прослеђују дисплеју, на њему ће се приказати број цифара у зависности од броја фаза које је бројач морао да прође да би добио вредност фреквенције. За сигнал од 1 kHz и гејт од 1 секунде добиће се 4 цифре, јер ће бројач морати да прође четири циклуса. За сигнал од 100 kHz, 6 цифара и тако даље.

3.2. Реципрочно мерење фреквенције

Реципрочни бројачи мере временски период улазног сигнала, због тога бројач реципрочне фреквенције увек ће имати исти број цифара резолуције, без обзира на улазну фреквенцију. Реципрочни бројачи мере време између две суседне узлазне или силазне ивице импулсног сигнала. То измерено време представља периоду сигнала. Фреквенција импулсног сигнала једнака је реципрочној вредности периоде.

Гледајући спецификацију резолуције фреквенције, може се утврдити да ли је бројач фреквенције директан бројач или реципрочни бројач. Ако враћа резултат у херцима, то је директан бројач. Ако враћа резултат у цифри по секунди, то је реципрочни бројач.

На следећој слици је приказана разлика између резолуција директног бројача и реципрочног бројача фреквенције [10]. Код директног бројача, сваким циклусом које бројач прође како би добио све цифре које долазе од стране гејта, број цифара на дисплеју се повећава за 1. Реципрочни бројач ће само израчунати периоду сигнала и њену реципрочну вредност. Како то ради само једном, на дисплеју ће се одмах приказати вредност фреквенције, јер бројач не рачуна и не прослеђује вредност дисплеју по циклусима.



Слика 9: Разлика између резолуција директног и реципрочног бројача (за 1 секунду) [19]

4. Мерач фреквенције

Мерач фреквенције је инструмент који приказује фреквенцију периодичног електричног сигнала. Постоји више типова мерача фреквенције. Многи од њих раде по принципу извијања (дефлекције), који се користе за мерење ниских фреквенција, али који су такође способни да мере фреквенције до 900 Hz. Они раде тако што балансирају две супротне (супротстављене, енгл. opposing) силе. Сама промена фреквенције која се мери треба да изазове промену овог баланса који се може мерити помицањем показивача на скали. Постоје две врсте бројача типа одступања (отклањања), електрични резонантни кругови (електрична резонантна кола) и пропорометри (мераачи односа).

Мерачи фреквенције могу бити:

- 1) Аналогни мерачи фреквенције и
- 2) Дигитални мерачи фреквенције.

4.1. Аналогни мерач фреквенције

Аналогни бројачи су корисни у апликацијама где је потребно да се измерена вредност фреквенције прикаже на контролној табли. На слици 10 је приказан изглед аналогног мерача фреквенције.

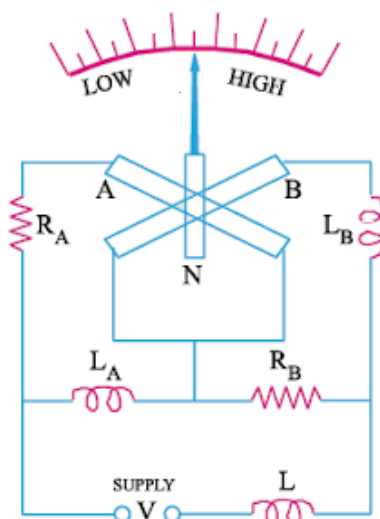


Слика 10: Аналогни мерач фреквенције [20]

На слици 11 је приказана шема аналогног мерача фреквенције.

Аналогни мерач фреквенције се састоји од две завојнице. Једна завојница тежи да диск окрене у смеру казаљке на сату, док друга тежи да помери диск у супротном смеру. Завојница А је редно везана са отпорником високе отпорности, док је завојница Б

везана редном везом са калемом високе индуктивности. При вишим фреквенцијама мереног сигнала, вредност струје која пролази кроз завојницу А расте, док кроз завојницу Б опада. На тај начин магнетно поље завојнице А расте, па ће се самим тим игла, која служи за приказивање вредности, померити у смеру казаљке на сату односно ка завојници А. На исти начин ће при ниским фреквенцијама завојница Б омогућити померање казаљке у супротном смеру.



Слика 11: Шема аналогног мерача фреквенције [21]

4.2. Дигитални мерач фреквенције

Дигитални мерач фреквенција је инструмент опште намене који приказује фреквенцију периодичног електричног сигнала на дисплеју. Рад дигиталног мерача је објашњен у претходном поглављу, мерење фреквенције. За реализацију овог рада је коришћен модел дигиталног мерача фреквенције. Пример дигиталног мерача је приказан на следећој слици.

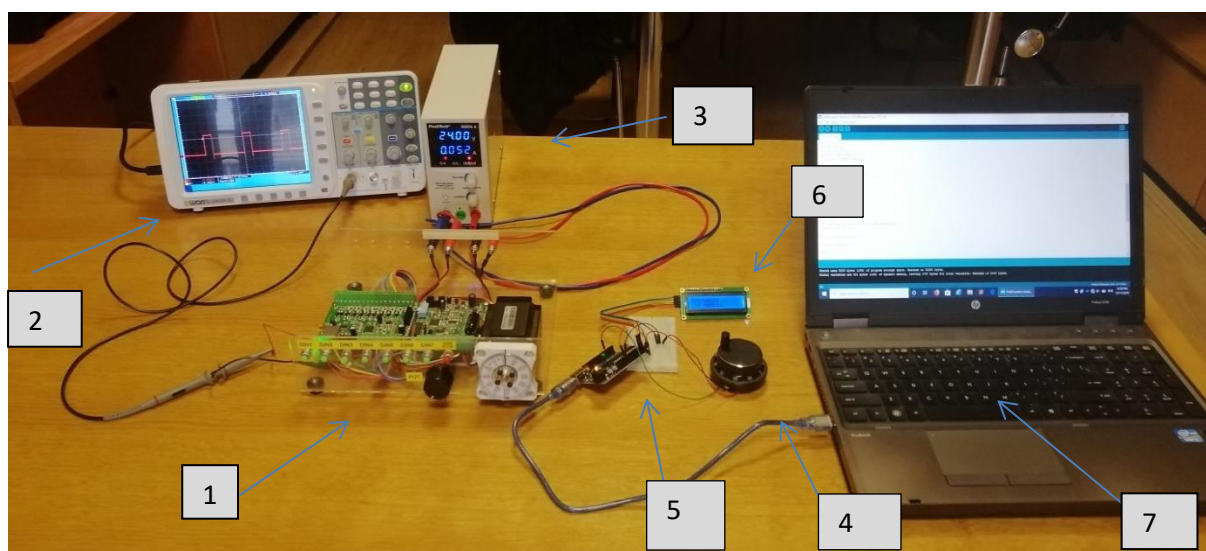


Слика 12: Дигитални мерач фреквенције [22]

5. Реализација мерача фреквенције

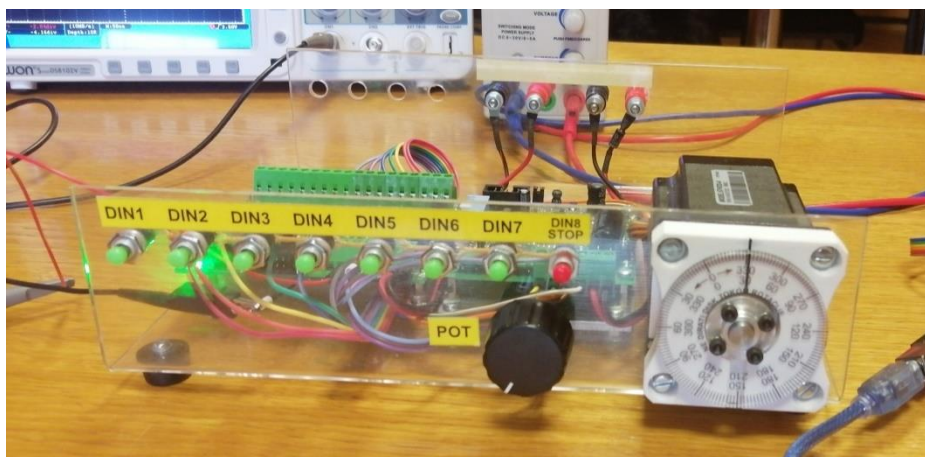
Основна идеја овог рада је реализација дигиталног мерача фреквенције. За саму реализацију су коришћене следеће компоненте, које су приказане на слици 13:

- 1) Генератор дигиталног сигнала
- 2) Осцилоскоп
- 3) Напајање од 24V
- 4) Ручни генератор дигиталних сигнала
- 5) Ардуино Уно
- 6) LCD Дисплеј
- 7) Рачунар



Слика 13: Потребна опрема

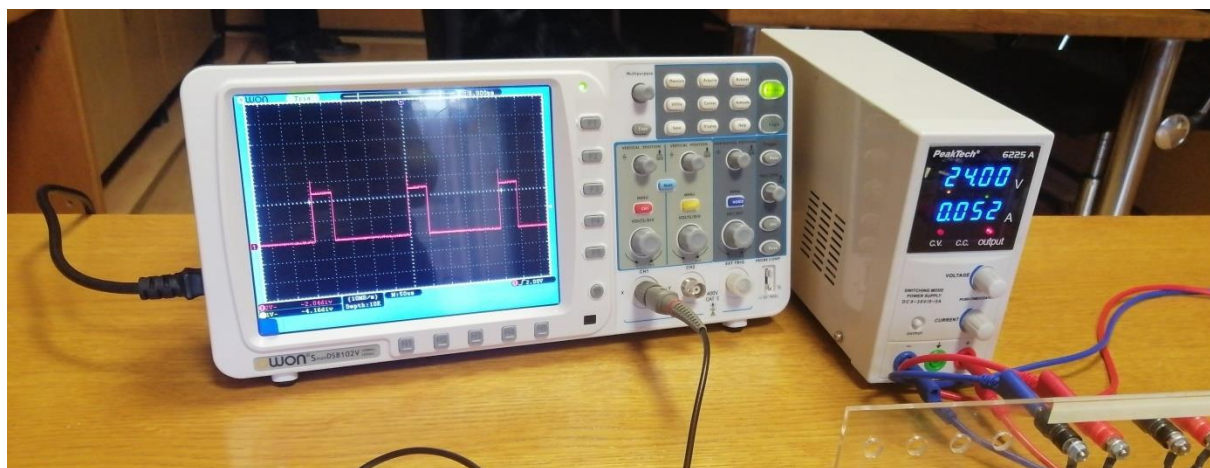
За генерисање улазних сигнала коришћени су генератор дигиталног сигнала и ручни генератор дигиталних сигнала. За реализацију су коришћена четири тастера генератора дигиталног сигнала и још један пин чији је излаз представљао генерисани сигнал. За почетак самог генерисања сигнала, чија је почетна фреквенција 0 Hz, коришћен је тастер DIN1, док је за паузирање (заустављање) сигнала коришћен тастер DIN8 STOP. На слици 14 је приказан генератор импулса.



Слика 14: Генератор импулса

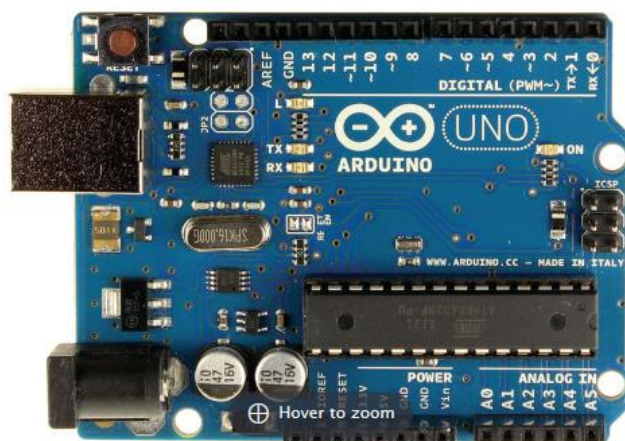
Тастери DIN2 и DIN3 имају улогу инкремента и декремента, респективно. Сам генератор сигнала је испрограмиран (подешен) тако да се притиском на тастер DIN2 фреквенција повећа за 500 Hz, док се притиском на тастер DIN3 фреквенција смањи за 500 Hz. Сам експеримент се заснивао на генерисању сигнала фреквенције од 0 Hz до 10000 Hz (10 kHz).

Осцилоскоп је универзални инструмент за мерење напона, струје и отпорности. Најчешће је коришћен мерни инструмент у електроници. Основна намена му је приказивање временских дијаграма периодичних сигнала али се може користити и за приказивање међусобне зависности два сигнала (мерење фазе и фреквенције). Осцилоскоп и напајање од 24 V су приказани на следећој слици.



Слика 15: Осцилоскоп и извор напајања

Микроконтролер АТмега 328Р Ардуина има улогу да детектује периоду долазног (улазног) сигнала и да израчуна фреквенцију тог сигнала. Улазни сигнали генератора су довођени на пин 8 микроконтролера. Тај пин је CLK (Clock) и то је временски сигнал такта, који омогућава поуздану комуникацију. Овај пин се може повезати са одговарајућим пиновима више периферних уређаја [11]. На наредној слици је приказан Ардуино Уно.

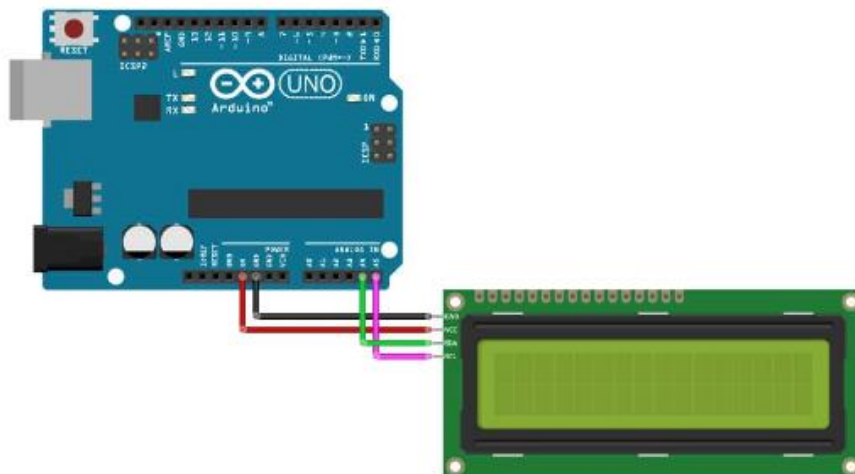


Слика 16: Ардуино Уно [23]

LDC Дисплеј је коришћен за сам приказ измерене фреквенције. За повезивање дисплеја са Ардуином коришћена је I2C комуникација. I2C модул садржи четири пина помоћу којих се повезује. Два пина су за напајање и масу, док су пинови SCL и SDA за пренос сигнала. SCL је тактни сигнал, док је SDA сигнал за пренос података. На слици 17 су приказани LDC Дисплеј и I2C модул, док је на слици 18 приказна шема њиховог повезивања.



Слика 17: LCD дисплеј са I2C модулом [24]



Слика 18: Блок дијаграм повезивања [25]

5.1. Реализација софтвера (firmware-a)

Сам софтвер за реализацију мерача фреквенције је реализован у Ардуиновом интегрисаном развојном окружењу. Креирана су два кода, један који мери фреквенцију улазног сигнала и исписује је на дисплеју, и други, који који на дисплеју исписује време које протекне између два импулса.

На самом почетку је потребно позвати све потребне библиотеке и дефинисати променљиве које ће се користити, као што је приказано на следећој слици.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16,2);

const int pulsePin = 8 ;

int pulseHigh;

int pulseLow;

float pulseTotal;
```

Слика 19: Реализација софтвера- библиотеке и променљиве

Библиотека wire.h омогућава комуникацију између дисплеја и Ардуина помоћу I2C модула.

Библиотеке LiquidCrystal_I2C.h и LiquidCrystal.h омогућавају Ардуино плочи да контролише LCD дисплеје засноване на Hitachi HD44780 (или компатибилном) чипу, који се налази на већини текстуалних LCD-ова.

Променљивом pulsePin дефинисан је пин на коме ће се учитавати улазни сигнал. Променљиве pulseHigh и pulseLow треба да детектују дужину трајања високог напонског сигнала, односно дужину трајања ниског нивоа улазног сигнала, док pulseTotal треба да рачуна укупно време улазног импулса (збир времена када је сигнал на +5 V и времена када је сигнал на 0 V).

Функција setup() се позива када се започне програм. Користи се за иницијализацију променљивих, пинова, почетак употребе библиотека, итд. Покреће се само једом приликом ресетовања или поновног покретања програма [12]. Ова функција је приказана на слици 20.

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);  
    pinMode(pulsePin, INPUT);  
    lcd.init();  
    lcd.begin(16, 2);  
    lcd.backlight();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Merac frekvencije");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    delay(5000);  
  
    lcd.clear();  
}
```

Слика 20: Функција setup()

Након креирања функције setup(), која иницијализује и поставља почетне вредности, функција loop(), како јој само име каже, врти се у петљи, односно стално се извршава док се и сам програм извршава, омогућавајући програму да се мења и реагује. Помоћу њега се може активно контролисати Ардуино плоча [13].

У првом програму, у којем се мери фреквенција, ова функција изгледа као што је приказано на слици 21:

```

void loop() {

    lcd.setCursor(0,0);

    pulseTotal = 0.0;
    for(int i=0;i<32;i++){
        pulseHigh = pulseIn(pulsePin, HIGH);
        pulseLow = pulseIn(pulsePin, LOW);
        pulseTotal = pulseTotal + pulseHigh + pulseLow;
    }
    float pulseTotal2 = pulseTotal/32;
    frequency = 1000000 / pulseTotal2;
    lcd.print(frequency);
    Serial.println(frequency);
    delay(500);

}

```

Слика 21: Функција loop()- први код

На самом почетку ове функције, у петљи се читавају вредности улазног сигнала помоћу функција pulseLow и pulseHigh. Затим се рачуна укупно време сигнала. Петља се извршава 32 пута и укупно добијено време се дели са 32, како би се омогућило усредњавање сигнала и како би се добиле финије излазне вредности. Затим, како се вредност времена (периоде) добије, потребно је помоћу реципрочног мерача, да се са милион подели та добијена вредност. Потребно је да се дели са 1000000 како би добијена вредност била у херцима. Delay(500) означава да ће се програм вратити на почетак функције loop() након сваких 500 ms извршавања.

У другом програму, који рачуна време које протекне између две узлазне ивице два узастопна дигитална импулса, функција loop() изгледа као што је приказано на слици:

```

int pulse = digitalRead(pulsePin);
int pulse_1 = pulse;
int flag = 0;
int count0=0;
int count1=0;
unsigned long vreme_poc=millis();
unsigned long vreme_kraj;
while(true){
    pulse = digitalRead(pulsePin);
    if(pulse==1 && pulse_1 ==0){
        if(count_impulse==0)    vreme_poc=millis();

        count_impulse++;
        if (count_impulse==1000)
        {
            vreme_kraj=millis();

            usrednjena_sirina=(vreme_kraj-vreme_poc);
            count_impulse=0;
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.print(usrednjena_sirina);
            Serial.println(vreme_kraj-vreme_poc);

        }
        count1 = 0;}

```

Слика 22: Функција loop() – други код

Прво су дефинисане две променљиве `vreme_poc` и `vreme_kraj`, где `vreme_poc` има улогу да узима време у датом тренутку у милисекундама. У бесконачној петљи се читава вредност улазног сигнала. Ако је вредност логичка јединица, +5V, и ако је претходна вредност била логичка 0, тада ће се испитати број импулса. Ако је тај број једнак нули, позваће се функција `milis()` која ће узети тренутно време као почетно. Број импулса ће се повећати за 1. Програм ће се извршавати све док број импулса, односно узлазних ивица, не буде једнак 1000. Када се достигне тај број, узима се тренутно време као време крај. Променљива `usrednjea_sirina` ће чувати вредност времена, које представља разлику између крајњег времена, када је завршено бројање односно када је прошло 1000 импулса, и почетног времена, када је уочена прва улазна ивица. Тада ће се бројач импулса вратити на нулу.

5.2. Резултати експерименталних мерења

Само мерење се вршило за улазне сигнале фреквенције у распону од 500 Hz до 10 kHz. Оквирно је на сваких 30 секунди мерења фреквенција сигнала била повећана за по један корак од 500 Hz. За тих 30 секунди, број узорака је био између 50 и 60.

Прво је израчуната средња вредност за сваку дату фреквенцију улазног сигнала свих узорака. Затим је на основу те, средње вредности измерене фреквенције, и стварне, фреквенције генерисаног сигнала, добијена апсолутна и релативна грешка.

Релативна грешка се рачуна помоћу апсолутне грешке. Апсолутна грешка се рачуна тако што се по апсолутној вредности одузме измерена вредност фреквенције од стварне вредности фреквенције. Релативна грешка представља однос апсолутне грешке и стварне вредности. Једначине за рачунање апсолутне и релативне грешке су следеће:

$$\text{Формула апсолутне грешке} \quad \alpha = |x - a| \quad (4)$$

$$\text{Формула релативне грешке} \quad \beta = \frac{\alpha}{|x|} \quad (5)$$

У табелама 1 и 2 су приказне апсолутна и релативна грешка приликом мерења фреквенције помоћу оба метода.

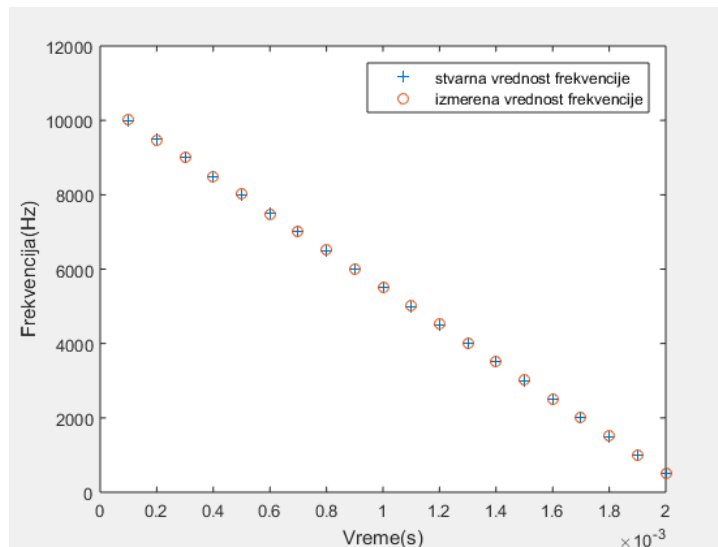
Табела 1: Измерене вредности фреквенције коришћењем првог метода

Стварна вредност фреквенције (Hz)	Средња измерена вредност фреквенције (Hz)	Апсолутна грешка (Hz)	Релативна грешка(%)
500	503.5363	3.536327	0.707265306
1000	1006.837	6.836939	0.683693878
1500	1509.305	9.304898	0.620326531
2000	2011.942	11.94245	0.597122449
2500	2513.06	13.06035	0.522413878
3000	3013.156	13.15551	0.438517007
3500	3514.841	14.84102	0.424029155
4000	4014.452	14.45163	0.361290816
4500	4517.429	17.42896	0.387310185
5000	5017.398	17.39755	0.34795102
5500	5513.208	13.20837	0.240152134
6000	6009.382	9.381837	0.156363946
6500	6513.421	13.42143	0.206483516
7000	7015.016	15.01551	0.214507289
7500	7480.797	19.20347	0.256046259
8000	8024.797	24.25245	0.303155612
8500	8494.556	5.443673	0.064043217
9000	9023.668	23.66755	0.262972789
9500	9447.776	52.22367	0.549722879
10000	10009.53	9.532449	0.09532449

Табела 2: Измерене вредности фреквенције коришћењем првог метода

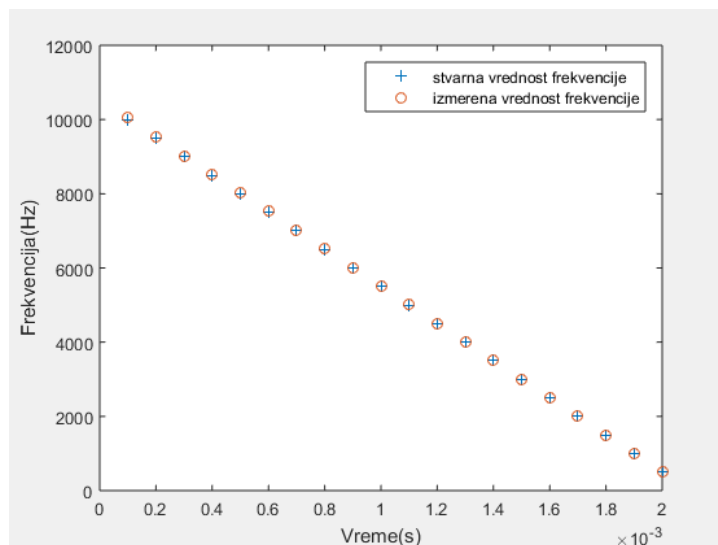
Стварна фреквенција (Hz)	Средња вредност трајања 1000 периода(ms)	Средња вредност трајања једне периоде(ms)	Израчунат а фреквенциј а на основу периоде	Апсолутн а грешка (Hz)	Релативна грешка (%)
500	1994.808	1.994808	501.3015	1.301456	0.26029114
1000	997.3929	0.9973929	1002.614	2.613958	0.26139578
1500	644.9444	0.6449444	1503.885	3.885036	0.25900242
2000	498.68	0.49868	2005.294	5.293976	0.26469880
2500	398.5806	0.3985806	2508.903	8.902557	0.35610229
3000	332.6552	0.3326552	3006.116	6.115891	0.20386303
3500	284.8462	0.2848462	3510.667	10.66703	0.30477219
4000	249.3158	0.2493158	4010.977	10.97741	0.27443529
4500	221.6216	0.2216216	4512.195	12.19512	0.27100271
5000	199.4615	0.1994615	5013.498	13.49788	0.26995758
5500	181.35	0.18135	5514.199	14.19906	0.25816477
6000	166.25	0.16625	6015.038	15.03759	0.25062656
6500	153.5278	0.1535278	6513.479	13.47928	0.20737359
7000	142.5143	0.1425143	7016.84	16.84042	0.24057738
7500	132.8298	0.1328298	7528.432	28.43184	0.37909124
8000	124.6939	0.1246939	8019.64	19.63993	0.24549918
8500	117.375	0.117375	8519.702	19.70181	0.23178600
9000	110.7895	0.1107895	9026.128	26.12827	0.29031406
9500	105.013	0.105013	9522.632	22.63171	0.23822851
10000	99.56164	0.9956164	10044.03	44.02862	0.44028618

У софтверском пакету Matlab су нацртани добијени подаци. На првом графику, приказаном на сликама 23 и 24, су приказане вредности стварне фреквенције плавим плусевима, док је измерена вредност фреквенције приказана жутим круговима.



Слика 23: Графички приказ фреквенција коришћењем прве методе

На другом графику, слика 24, је приказана зависност измерене дужине трајања једне периоде из другог кода и вредности фреквенције. На графику се примећује да вредност између две узлазне ивице импулса расте како фреквенција опада.

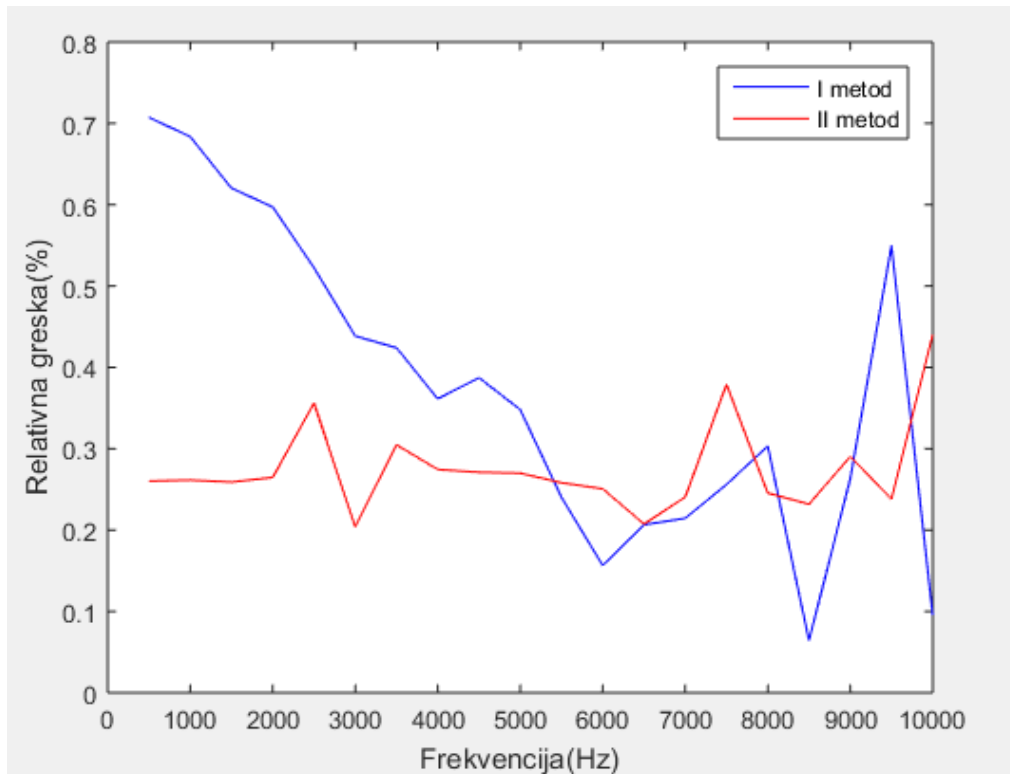


Слика 24: Графички приказ фреквенције коришћењем друге методе

На основу вредности из табела 2 и 3, може се приметити да вредности измерене фреквенције оба метода одступају од стварне вредности фреквенције.

Коришћењем прве методе, где се реципрочно мери фреквенција, вредности одступају далеко више од друге методе, где се рачуна периода улазног сигнала.

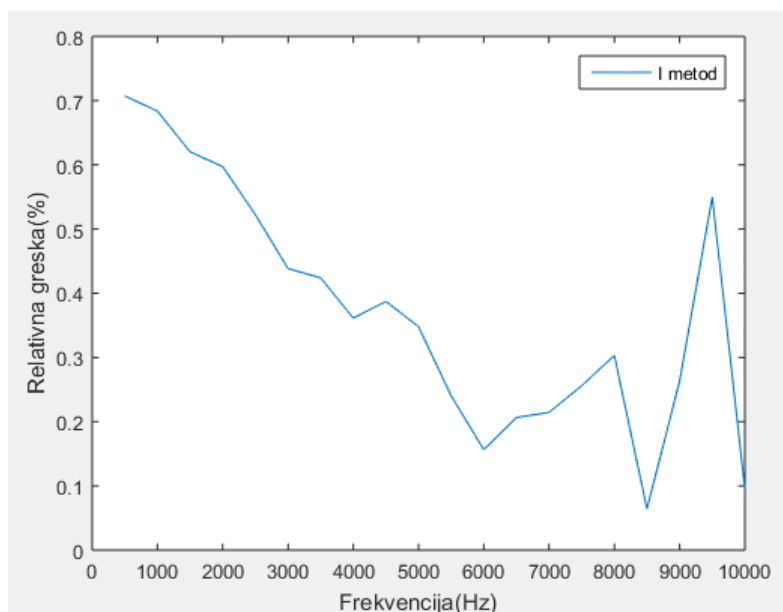
Вредности реалтивних грешака коришћењем оба метода су приказане на следећој слици. Црвеном бојом су обележене вредности реалтивних грешака коришћењем другог метода, док су плавом бојом обележене вредности реалтивних грешака добијене коришћењем првог метода.



Слика 25: Приказ релативних грешака обе методе

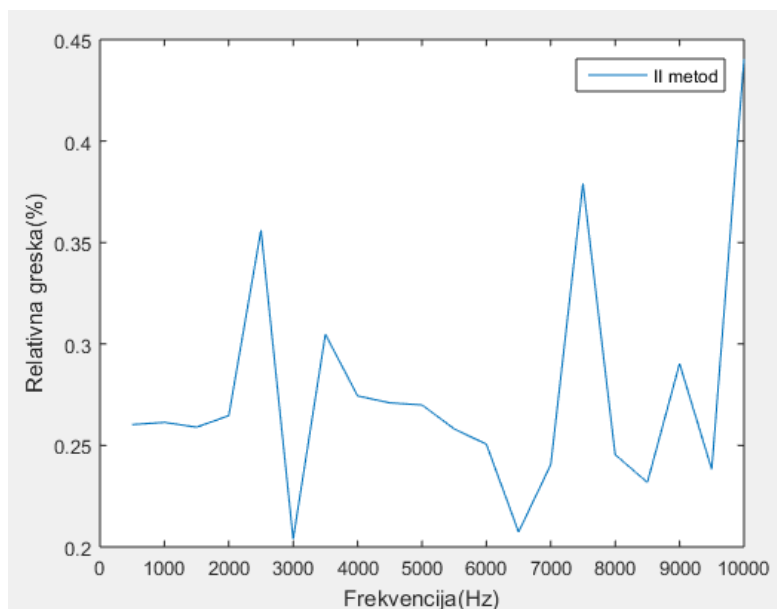
Како је након мерења, коришћењем оба метода, израчуната апсолутна и релативна грешка, чије су вредности приказане у табелама 2 и 3, графици зависности релативне грешке од мерене фреквенције су приказани на сликама 26 и 27.

На слици 26 се види да релативна грешка опада са порастом фреквенције, док када достигне вредност од 6000 Hz, та вредност почиње нагло да се мења.



Слика 26: Приказ релативне грешке коришћењем првог метода

На слици 27 се види да вредности релативне грешке варирају током времена, али је грешка далеко мања. Код првог метода, вредност релативне грешке варира од 0.1 до 0.7, док код другог метода та вредност је много мања. Налази се у интервалу од 0.2 до 0.45, али су углавном вредности између 0.2 и 0.3.



Слика 27: Приказ релативне грешке коришћењем другог метода

6. Закључак

Тема дипломског рада је била реализација мерача фреквенције на Ардуино платформи. Овај систем има могућност проширења броја улаза, додатна три улазна сигнала се могу додати на пинове микроконтролера на којима се налазе Тајмер0, Тајмер1 и Тајмер2 [8]. Поред мерења фреквенције, било је потребно разматрање могућност реализације кумулативног броја импулса који може представљати пређени пут.

Ова тема је опширно описана у књигама, како страних тако и домаћих аутора. Сама реализација је достигнута у одређеним границама и на тај начин задовољила већину задатака који су на самом почетку били дефинисани.

Како су приликом реализације коришћена два метода, један који приказује реципрочно мерену вредност фреквенције и други, помоћу ког се израчунава периода сигнала на основу које се рачуна фреквенција, дошло се до резултата који приказују да је други метод далеко тачнији и да је релативна грешка фреквенције далеко мања.

Сам даљи развој и даље унапређење система је могуће. У даљем развоју је могуће размотрити могућност бољег мерења фреквенције и добијање тачнијег резултата. Такође, могуће је размотрити могућност коришћења неког другог од претходно наведених метода за мерење фреквенције.

7. Литература

- [1] Електрични сигнал, фреквенција. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<https://electronicsclub.info/acdc.htm>
- [2] Класификација сигнала. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
https://www.tutorialspoint.com/signals_and_systems/signals_classification.htm
- [3] Подела сигнала на аналогне и дигиталне. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<https://www.elprocus.com/differences-between-analog-signal-and-digital-signal/>
- [4] Опис дигиталних сигнала. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
https://en.wikipedia.org/wiki/Digital_signal
- [5] Подела сигнала на дискретне и континуалне. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<https://www.student-circuit.com/learning/year2/signals-and-systems-intermediate/discrete-and-continuous-signals/>
- [6] Подела сигнала на периодичне и аперидичне. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<http://pilot.cnxproject.org/content/collection/col10064/latest/module/m10057/latest>
- [7] Парни и непарни сигнали. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
https://www.tutorialspoint.com/signals_and_systems/signals_classification.htm
- [8] AVR205: Frequency Measurement Made Easy with Atmel tinyAVR and Atmel megaAVR, Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/doc8365.pdf>
- [9] Опис рада мерача фреквенције. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/frequency-counter-timer/how-does-a-frequency-counter-work-operation.php>
- [10] Реципрочни мерачи фреквенције. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<https://www.best-microcontroller-projects.com/article-frequency-counter.html>
- [11] Ардуино развојно окружење. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:
<https://www.arduino.cc/>

[12] Функција setup(). Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/structure/sketch/setup/>

[13] Функција loop(). Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

<https://www.arduino.cc/reference/en/language/structure/sketch/loop/>

[14] Matthew Sadiku, Warsame Ali: Signals and Systems, CRC Press, 2015

[15] Бранко Ковачевић, Жељко Ђуровић, Срђан Станковић: Сигнали и системи, Академска Мисао, Београд 2008.

[16] Дигитални сигнал. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-a-discrete-and-digital-signal?redirected_qid=1770851#!n=12

[17] Приказ периодичног и аperiodичног сигнала. Приступљено : 16.12.2019. године, линк: <https://www.slideshare.net/ketansolanki3/signals-and-systems-ch1>

[18] Парни и непарни сигнали. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

https://www.eecs.yorku.ca/course_archive/2002-03/S/3451/2002W1 ITEC-233.1/Unit.1/Presentation.1/Segment2/index.html

[19] Директно и реципрочно мерење фреквенције. Приступљено : 16.12.2019. године, линк: <https://community.keysight.com/community/keysight-blogs/general-electronics-measurement/blog/2018/02/26/how-does-a-frequency-counter-work>

[20] Аналогни мерач фреквенције. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

<https://www.indiamart.com/proddetail/analog-frequency-meter-19262864612.html>

[21] Шема аналогног мерача фреквенције. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

<https://www.yourelectricalguide.com/2018/01/moving-iron-analog-frequency-meter-working-principle.html>

[22] Дигитални мерач фреквенције. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

<https://www.iskra.eu/en/Digital-Meters-with-LED-Display/Digital-Panel-Frequency-Meter-DM-302/>

[23] Ардуино Уно. Приступљено : 16.12.2019. године, линк:

<https://www.distrelec.nl/en/microcontroller-board-uno-arduino-a000066/p/11038919>

[24] LCD дисплеј и I2C модул. Приступљено: 16.12.2019. године, линк:

<https://www.dhgate.com/product/lcd-display-lcd1602-module-blue-screen-1602/482162741.html#seo=WAP>

[25] Шема повезивања Ардуина и дисплеја помоћу I2C модула. Приступљено: 16.12.2019. године, линк:

https://create.arduino.cc/projecthub/arduino_uno_guy/i2c-liquid-crystal-displays-5b806c

8. Списак слика

Слика 1: Особине сигнала	7
Слика 2: Дискретан и континуалан сигнал.....	8
Слика 3: Пример аналогног сигнала	9
Слика 4: Пример дигиталног сигнала [16].....	10
Слика 5: Периодичан сигнал са периодом T_0 [17]	11
Слика 6: Аперидични сигнал [17]	11
Слика 7: Парни и непарни сигнал [18].....	12
Слика 8: Принцип рада мерача фреквенције [9].....	13
Слика 9: Разлика између резолуција директног и реципрочног бројача (за 1 секунду) [19].....	15
Слика 10: Аналогни мерач фреквенције [20]	16
Слика 11: Шема аналогног мерача фреквенције [21]	17
Слика 12: Дигитални мерач фреквенције [22].....	17
Слика 13: Потребна опрема	18
Слика 14: Генератор импулса	19
Слика 15: Осцилоскоп и извор напајања	19
Слика 16: Ардуино Уно [23]	20
Слика 17: LCD дисплеј са I2C модулом [24].....	20
Слика 18: Блок дијаграм повезивања [25]	21
Слика 19: Реализација софтвера- библиотеке и променљиве.....	21
Слика 20: Функција <code>setup()</code>	22
Слика 21: Функција <code>loop()</code> - први код	23
Слика 22: Функција <code>loop()</code> – други код	24
Слика 23: Графички приказ фреквенција коришћењем прве методе.....	27
Слика 24: Графички приказ фреквенције коришћењем друге методе	27
Слика 25: Приказ релативних грешака обе методе.....	28

9. Списак табела

Табела 1: Измерене вредности фреквенције коришћењем првог метода.....	25
Табела 2: Измерене вредности фреквенције коришћењем првог метода.....	26