

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Примењена механика и аутоматско управљање
Предмет: Сензори и актуатори
Број индекса: 48/2010

Никола С. Јовановић
Аквизација и визуализација сигнала
лабораторијског система DL2312HG
-Завршни рад-

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Милан Матијевић - ментор
2. Проф. др Слободан Савић
3. Проф. др Драган Тарановић

Датум одбране: 17.09.2013

Оцена: _____

У оквиру завршног рада кандидат треба да покаже како се врши аквизација и визуализација сигнала лабораторијског система DL2312HG помоћу аквизацијске картице NI USB 6008 и програмских пакета Matlab и LabView. При томе, потребно је да се напомену евентуална ограничења при мерењу сигнала уз помоћ истих. Такође, потребно је показати изглед неопходних кола тј. шеме повезивања ради омогућавања мерења сигнала са елемената. Сваки елемент, када прилике дозвољавају, треба обрадити прво посебно па тек онда са остатком кола.

Снимљене карактеристике треба обрадити и изложити, а затим упоредити са теоретским карактеристикама. Навести сличности и евентуалне разлике, објаснити због чега до њих долази.

Препоручена литература:

[1] Transducer Trainer DL2312HG, Theoretical Guide;

[2] Transducer Trainer DL2312HG, Practical Guide;

[3] Милан Матијевић, Горан Јакуповић, Јелена Цар, Рачунарски подржано мерење и управљање, Машински факултет у Крагујевцу, 2008;

[4] Александар Грујовић, Електроника аутомобила, Машински факултет у Крагујевцу, 2008;

[5] Срђан Станковић, Радомир-Мато Лаковић, Електроника, Електротехнички факултет у Подгорици, 1999;

[6] Signal Procesing for Communication, Paolo Prandoni, Martin Vetterli, 2008;

[7] User Guide And Specifications NI USB -6008/6009;

[8] Милош Милановић, Испитивање сензора и актуатора лабораторијског система DL2312HG, Завршни рад, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2013;

[9] Марко Тодоровски, Рачунарска подршка у извођењу експеримената и анализа резултата мерења, Дипломски рад, Машински факултет у Крагујевцу, 2010;

[10] Александар Грујовић, Основи теорије мерења, Машински факултет у Крагујевцу, 1999;

Резиме

У овом раду је представљен опис аквизације и визуализације сигнала лабораторијског система DL2312HG.

У првом делу рада дата је укратко подела сигнала. Исто тако у првом делу је описан процес А/Д конверзије. Након тога пажња је посвећена анализи NI USB 6008 картици. Разматране су опције које пружа NI USB 6008 картица и те опције су довођене у корелацију са захтевима који се јављају при аквизацији и визуализацији сигнала са лабораторијског система DL2312HG. Наведена су и ограничења примене картице.

У другом делу рада је представљен начин употребе програмских пакета Matlab и LabView. Пажња је првенствено била обрађена на правилно повезивање са NI USB 6008 картицом и избором начина мерења сигнала. Показано је како цео процес тече у програмима са наведеним напоменама о стварима на које је битно обратити пажњу.

Као последње је остављено најважније, процес аквизације и визуализације сигнала са елемената трансдјусера DL2312HG. За сваки елемент, где је то било могуће, показно је како се индивидуално посматрају сигнали на њему, како улазни тако и излазни. Након што је то било показано следице су компликованије шеме са више елемената и више сигнала. За сваки елемент је дат кратак опис принципа рада и опис добијених резултата. То је урађено зато што без разумевања појава које се посматрају само посматрање нема смисла.

Кључне речи: аквизација, визуализација, сензор, актуатор, мерење физичких величина, сигнал, систем, електрично коло, DL2312HG

Саржај

1. Увод.....	6
2. Сигнали.....	7
2.1. Дефиниција сигнала и врсте сигнала	7
2.2. Дигитални сигнали.....	9
2.2.1. Конверзија аналогног сигнала у дигитални.....	9
3. Алати коришћени при аквизацији и визуелизацији података	13
3.1. NI USB 6008 АД/ДА конвертор.....	13
3.1.1. Када се јавља "Floating Signal Sources" а када "Ground-Referenced Signal Sources" и коју методу довођења сигнала користити	20
3.1.2. Снимање сигнала "Differential signaling" методом.....	21
3.1.3. Снимање сигнала "Single-ended signaling" методом.....	23
3.2. Програмски пакет "Matlab"	23
3.2.1 Дефинисање улазних карактеристика.....	26
3.2.2 Дефинисање излазних карактеристика	28
3.3. LabView - LabVIEW Signal Express.....	29
4. Опис елемената и начина аквизације података са елемената лабораторијског система "DL2312HG"	31
4.1. Дисплеји уређаја "DL2312HG"	31
4.1.2. "The LED baragraph display" Дисплеј од ЛЕД диода	32
4.1.3. "Moving Coil Meter"-Аналогни мерач напона и струје са покретним калемом	34
4.1.4. Појачавачи	36
4.1.4.3. Појачавач наизменичног сигнала "AC Amplifier" (ACA).....	44
4.1.5. Појачавач снаге, "Power Amplifier"	48
4.1.6. Појачавач струје, " Current Amplifier"	50
4.1.7. Бафер, "Buffer Amplifier"	51
4.1.8. Инвертер, "Inverter"	54
4.1.9. Диференцијални појачавач, "Differential Amplifier"	57
4.2. Конвертори	60
4.2.1. Конвертор напона у струју, "V/I Converter"	60
4.2.2. Конвертор струје у напон, "I/V Converter"	63
4.2.3. Конвертор напона у фреквенцију, "Voltage to Frequency Converter" (V/F)	65

4.2.4. Конвертор фреквенције у напон , " Frequency to Voltage Converter" (F/V)	69
4.2.5 Исправљач таласа, "Full Wave Rectifier"	71
4.3. Компаратори, Осцилатори, Филтри	73
4.3.1. Компаратор, " Comparator"	73
4.3.2. Аларм осцилатор, "Alarm Oscillator"	76
4.3.3. Електронски прекидач, "Eleltronic Switch"	78
4.3.5. Филтри, "Filters"	81
4.4.Кола са функцијама математичких операција.....	83
4.4.1. Сабирач, "Summing Amplifier"	83
4.4.2. Интегратор, "Integrator"	85
4.4.3. Диференцијатор, "Differentiator"	87
4.4.4. Коло за узорковање сигнала, "Sample and Hold Circuit"	93
4.5. Отпорнички елементи.....	95
4.5.1. Вистонов мост, "Wheatstone Bridge Circuit"	95
4.6. Елементи укључени у мерење температуре	96
4.6.1. IC претварач, "LM 35 Integrated Circuit"	97
4.6.2. НТЦ термистори, "NTC Thermistor"	98
4.6.3. Термопар, "Temperature Thermocouple Thermistor, type K"	101
4.6.4. Мерење температуре помоћу диоде, "Diode Temperature Sensor"	103
4.7. Елементи за мерење интензитета светлости	104
4.7.1. Фотонапонска ћелија, "Photovoltaic cell"	104
4.7.2. Фототранзистор, "Phototransistor"	106
4.7.3 Фотоотпорник, "Photoconductive Cell"	107
4.7.4 Фотодиода, "Photodiode"	108
4.8. Елементи за мерење помераја и силе	110
4.8.1. Линеарни варијабилни диференцијални трансформатор (LVDT).....	110
4.8.2. Серво потенциометар, "Servo potentiometer"	113
4.8.3 Мерна трака, "Strain Gauge"	115
4.9. Сензори протока, притиска и влажности.....	116
4.9.1. Сензор протока, "Flow sensor"	116
4.9.2. Сензор притиска, "Pressure sensor"	119

4.9.3. Сензор влажности, "Humidity Sensor"	121
4.10. Елементи за мерење угаоног положаја и угаоне брзине	122
4.10.1. Оптоелектронски сензор, " The optoelectronic slot transducer"	122
4.10.2. Опторефлективни сензор, "Optoreflexive transducer"	123
4.10.3. Индуктивни сензор, " Inductive transducer"	125
4.10.4. Сензор са Холовим ефектом, "Hall effect transducer"	127
4.10.5. Тахогенератор, "Tachogenerator"	128
4.11. Сензори звучних сигнала	129
4.11.1 Микрофон, " Dynamic Microphone"	129
4.11.2. Ултразвучни пријемник, "The Ultrasonic Receiver"	130
4.12. Елементи чији је излазни сигнал звучни талас	131
4.12.1 Звучник, "Moving Coil Speaker"	131
4.12.2. Ултразвучни предајник, "The Ultrasonic Transmitter"	132
4.12.3. Зујалица, "Buzzer"	133
4.13. Карактеристике релеа који се налази на уређају DL2312HG.....	134
5. Закључак	136
Литература:.....	137

1. Увод

Овај рад представља завршни рад на основним студијама на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. У њему је обрађена тема визуализације и аквизације сигнала са лабораторијског система DL2312HG.

Почетак рада заснивао се на теоријском упознавању са испитиваним лабораторијским системом. Произвођач система је доставио теоријско и практично упутство па су почеци проучавања система управо везани за та упутства. Детаљно је проучен сваки елемент, разматрани су принципи рада, карактеристике дате од стране произвођача, њихова компатибилност са осталим елементима система DL2312HG. У тренутку када се стекло довољно знања за почетак рада отпочео је практичан део.

Након тражења најбољих опција за излагање резултата рада, одлучено је да рад прати, по редоследу разматрања елемената, теоријско упутство да би, ако неко пожели, једноставно могао да упореди резултате.

У првом делу рада, пре теоријске и практичне обраде елемената, дати су општи описи сигнала. Ту се пре свега мисли на дефиницију сигнала и уопштену поделу сигнала. Пошто се у раду користе и дигитални сигнали објашњена је је А/Д конверзија, и тај процес је детаљно обрађен.

Након тога представљен је процес аквизације сигнала путем NI USB 6008 картице и програмских пакета Matlab i LabView.

Тек када је све то било познато и када је све то предствљено кренуо је процес обраде елемената система DL2312HG. Акценат је бачен на то да се сваки елемент обради на више начина. Прво појединачно ако је могуће а затим да буде представљен у оквиру сложенијих кола чији је члан. За сваки елемент је дат теоријски принцип рада и тај теоретски део је упоређен са практичним резултатим чиме су се добиле упоредне карактеристике, понекад и различите. За све елементе су дати изгледи сигнала који их карактеришу, улазни и излазни сигнали. Посебно је обрађена пажња на ограничења при употреби елемената система DL2312HG, водило се рачуна о компатибилности са осталим елементима при повезивању.

Од мерних инструмената, поред већ наведених, коришћени су и унимер и осцилоскоп. Осцилоскоп се показао као веома вредан инструмент јер постоји велики број сигнала који другачије није могао да се мери, осим са осцилоскомпом.

Процес испитивања је био исти за све елементе. Прво се вршило повезивање кола, затим провера да ли је све повезано како треба. Након тога систем се пуштао у рад и тада се вршило снимање карактеристика и обрада добијених вредности. На самом крају рада дат је закључак о раду који је обављен.

2. Сигнали

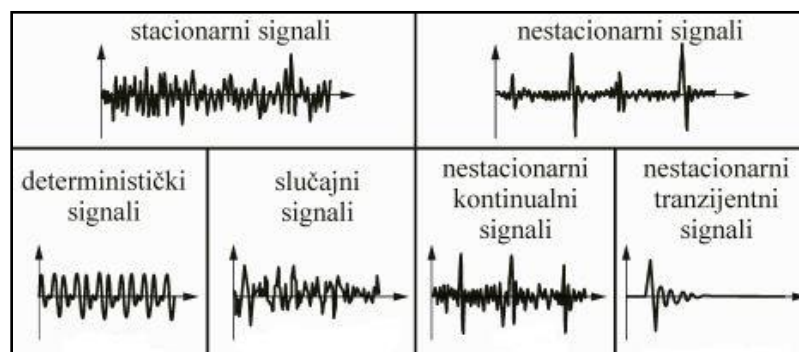
2.1. Дефиниција сигнала и врсте сигнала

Према [6], сигнал представља формални опис физичке величине, или феномена, који се мења током времена, може да зависи од просторних координата или неке друге независно променљиве.

Најједноставнији пример сигнала је људски говор. Изговорена реч представља низ таласа (енг. sound pressure wave) који доводе до промене притиска у ваздуху, тако се преноси и на крају се изговорена реч региструје као тај низ таласа. Поред овог примера постоји још много врста различитих сигнала: топлотни сигнал чија је вредност исказана одређеном температуром која одговара стању сигнала, светлосни сигнал који је представљен интензитетом светлости, електрични сигнал који се може представити помоћу више карактеристика (амплитуда, учестаност), итд.

На основну свег наведеног може се извршити основна подела свих сигнала (слика 1) те се сви сигнали могу сврстати у ове групе:

1. **Стационарни ;**
 1. Детерминистички;
 2. Случајни;
2. **Нестационарни;**
 1. Нестационарни континуални сигнали;
 2. Нестационарни транзијентни сигнали;



Слика 1. Графички приказ сигнала по поделама

Карактеристика стационарних детерминистичких сигнала је та да се њихова вредност може предвидети у сваком тренутку. Због тога, могу се дефинисати математички помоћу временски континуалних функција (нпр. напон синусног облика).

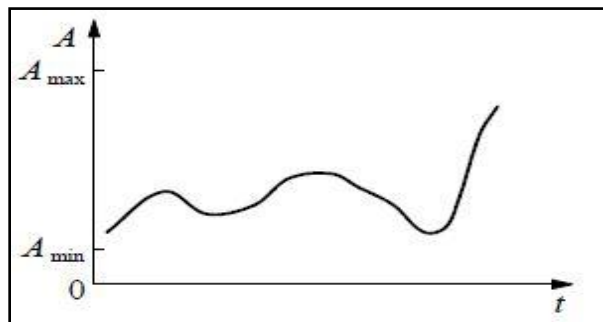
Случајни стационарни сигнали су такви сигнали да се њихово понашање не може прецизно предвидети у неком периоду у будућности, односно не могу се јасно дефинисати њихове карактеристике.

Нестационарни транзијентни сигнали су сигнали који током посматрања одржавају константу вредност.

Нестационарни континуални сигнали су сигнали чија се вредност непредвидиво мења током времена.

Такође, потребно је разликовати посматрани сигнал који карактерише одређен феномен, или физичку величину од шума. **Шум** је случајан временски променљив сигнал који не описује физичку величину, нити носи било коју другу информацију. Шум скоро увек представља проблем при читавању жељеног сигнала па се настоји да се шум изолије и одстрани помоћу разних методи и филера. Посебна грана науке се бави овим проблемом у оквиру обраде сигнала.

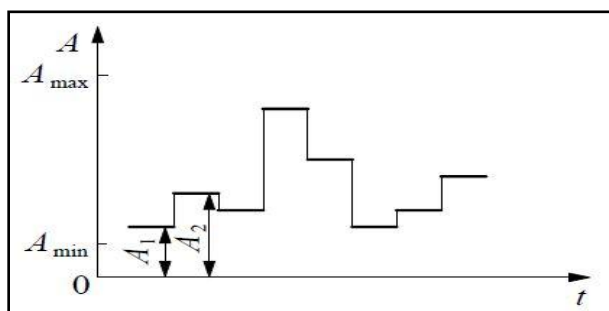
Могуће је извршити још једну битну поделу сигнала на аналогне сигнале и дискретне сигнале. Аналогни сигнали се још називају и континуални сигнали, они се представљају непрекидном функцијом времена и амплитудом. Типичан аналогни сигнал је дат на слици 2.1.



Слика 2.1. Пример аналогног сигнала

Са слике 1. где је дат пример аналогног сигнала може се јасно видети да је дефинисан за сваки временски тренутак и да представља зависност амплитуде (A) од времена (t). Са $A_{\max}$ је означена максимална амплитуда док је са $A_{\min}$ минимална амплитуда сигнала.

За разлику од континуалних сигнала који су дефинисани у сваком временском тренутку дискретни сигнали прате промене сигнала у дискретним временским тренуцима и по дискретним нивоима амплитуде. Они чине низ одвојених вредности и могу имати коначан број различитих вредности. Пример дискретног сигнала је дат на слици 2.2.



Слика 2.2. Пример дискретног сигнала

2.2. Дигитални сигнали

Да би сигнали могли да се користе, односно да се снимају, меморишу и да се по потреби обрађују, потребно је пребацити сигнале из континуалног у дискретни облик и при томе задовољити све неопходне услове да би сигнал и даље веродостојно описивао појаву коју иначе описује.

Према [3], дискретни сигнали се деле на: 1) Релејне сигнале; 2) Импулсне, дискретне сигнале; 3) Дигиталне сигнале;

Релејни сигнали су добијени квантовањем сигнала само по нивоима, импулсни сигнали су добијени квантовањем сигнала по времену, док дигитални сигнали представљају комбинацију ова два сигнала и добијени су квантовањем по времену и по нивоима упоредо.

2.2.1. Конверзија аналогног сигнала у дигитални

По својој природи, мерни давачи су најчешће аналогног карактера. Да би могли сигнали да се дигитално обрађују потребно је најпре те аналогне сигнале превести у дигитални облик. То се постиже помоћу А/Д (аналогно/дигитални) конвертора. У овом раду коришћена је ``NI USB 6008`` конверторска картица, о којој ће више бити речи у даље у тексту.

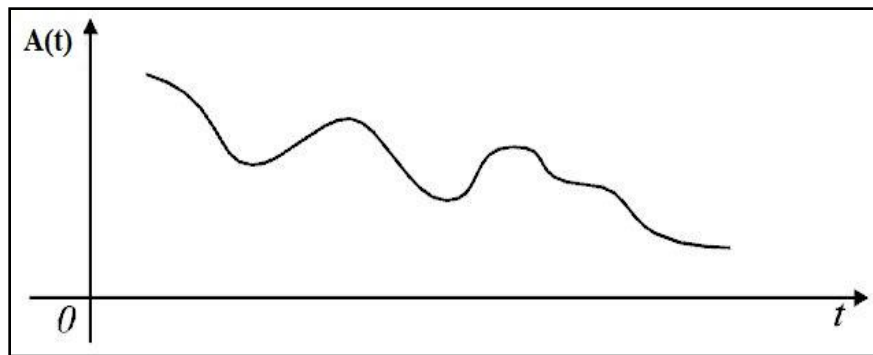
Сам поступак конверзије аналогног сигнала у дигитални према [4] састоји се од три поступка: одабирања, квантизирања и кодирања.

Процес **одабирања** представља дефинисање временских тренутака у којима се врши одабирање, сигнала. За разлику од континуални, аналогних, сигнала где су исти дефинисани за сваки временски тренутак, одабирањем се добијају временски тренуци за које је дигитални сигнал дефинисан и ти временски тренуци образују дискретан скуп $\tau_k \in \tau_0$ где k представља целобројне вредности ($k=0,1,2,3,\dots$) и означава тренутке у којима се посматрају вредности сигнала. Временски период, $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ ($i=0,1,2,3,\dots$), који представља разлику између два узастопна одабирања назива се **период одабирања** и може се значити са T_i . У случају да је временски период константан може се писати: $\Delta t_i = T_i$, односно као $t_k = kT$ ($k=1,2,3,\dots$), овде фактор k представља нормализовано дискретно време. Када је период одабирања константан тј. ако је $\Delta t_i = \text{const}$ каже се да је одабирање периодично или униформно са са фреквенцијом од $f=1/T$, супротно од тога, када период одабирања није константан тј. ако је $\Delta t_i \neq \text{const}$ одабирање је непериодично или неуниформно.

Посебна пажња се поклања периоду одабирања, фреквенцији одабирања, првенствено да би се посматрани сигнал верно репродуковао. Одговор на то даје

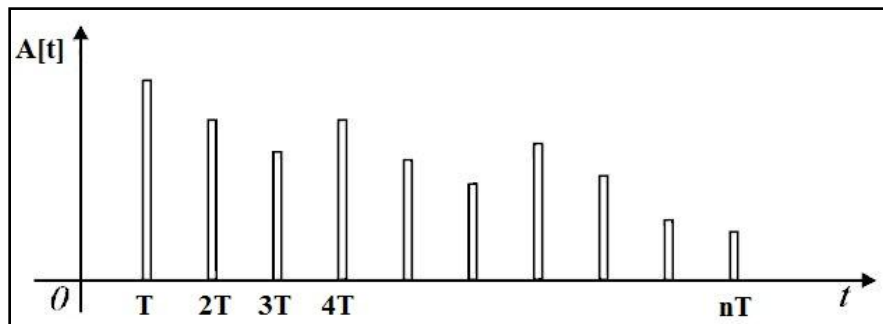
Шенонова (Claude Shannon) теорема која се другачије назива Теорема одабирања: "Ако континуални временски сигнал $x(t)$ има спектар фреквенција чији се опсег налази у интервалу $0 < f < f_m$ онда је тај сигнал у потпуности дефинисан својим тренутним вредностима узетим у еквидистантним тачкама које образују низ са интервалима између чланова низа: $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = 1/2f_m$ ". Ово практично значи да је потребно имати најмање два пута већу фреквенцију одабирања f_o од највеће фреквенције f_m из спектра сигнала који се посматра. У пракси је тај однос мало другачији па се за до квалитетне аквизације сигнала долази када се користи однос $f_o \approx 5 f_m$.

На слици под редним бројем 3. је дат изглед насумично изабраног континуалног сигнала представљеног као зависност амплитуде $A(t)$ од времена t .



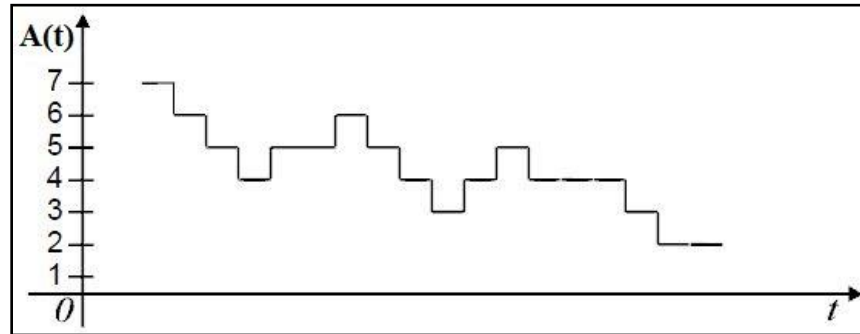
Слика 3. Континуалан сигнал $x(t)$

На примеру овог сигнала урађена је дискретизација сигнала по времену. Након дискретизације сигнала добијен је дискретни сигнал који је представљен на слици 4.



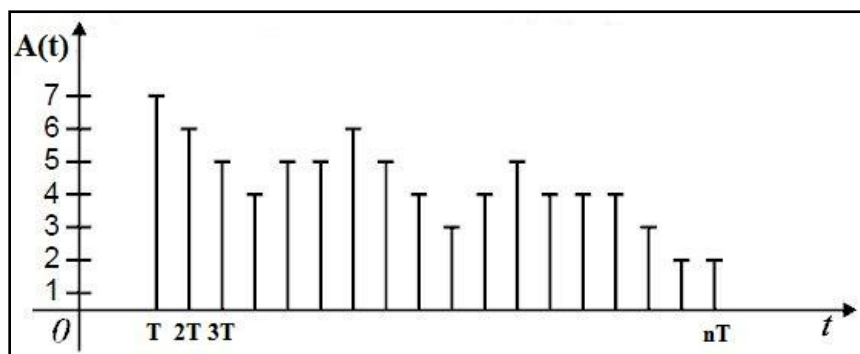
Слика 4. Сигнал континуалан по тренутним вредностима а дискретан по времену (импулсни сигнал)

На слици 4. такође се може приметити да је период одабирања константан што значи да је у питању униформно одабирање. Потребно је напоменути да је могуће извршити и дискретизацију по нивоима док се задржава да је посматрани сигнал $x(t)$ временски континуалан, другум речима дискретизација по нивоима није ништа друго до формирање одређених скупова амплитудних вредности преко којих вредност сигнала може да буде само из скупа одређених величина којима се представљају све остале амплитудне вредности. За пример дискретизације по тренутним вредностима такође је узет сигнал са слике 3. и након дискретизације он изгледа као на слици 5.



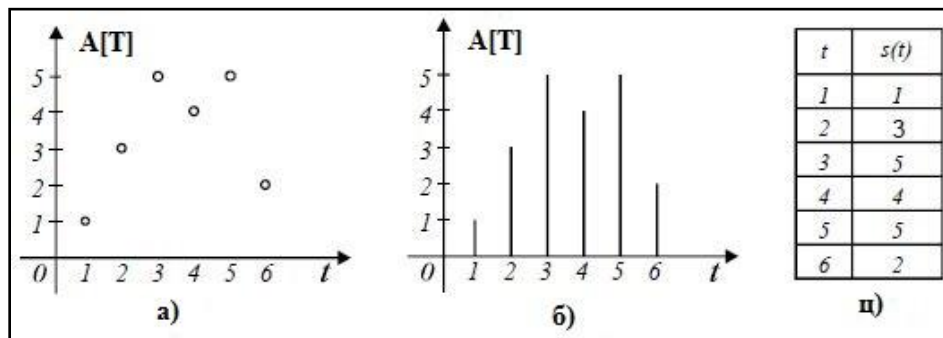
Слика 5. Сигнал континуалан по времену а дискретан по тренутним вредностима (релејни сигнал)

Дискретизација по нивоима је јако битна, јер у комбинацији са дискретизацијом по времену заједно дају могућност да се добије дигитални сигнал. Сам процес дискретизације по нивоима се још може назвати и процесом **квантизирања**. Као што је већ наведено, процесом квантизирања, континуални сигнал се замењује одређеним фиксираним вредностима из скупа одређених вредности амплитуда који су најближи тренутним вредностима сигнала у тренуцима одабирања. Ти скупови одређених вредности амплитуда, или ти дискретни нивои како је могуће другачије формулисати њихов назив, могу се представити као целобројни умношци кванта или корака квантизирања (q). Сам квант представља најмањи прираштај вредности сигнала који конвертор може да детектује. Тај минимални прираштај који конвертор може да детектује се назива резолуција. При квантизирању нужно је да се јавља грешка квантизирања, тј. долази до промене вредности сигнала који се посматра, јер се тренутна вредност мења у вредност најближе фиксираних. Максимална грешка која може у том случају да се направи износи $q/2$. Након извршене обе дискретизације и по времену и по нивоима посматрани сигнал $x(t)$, изгледа као на слици 6.



Слика 6. Дискретни сигнал

Да би дискретни сигнал постао дигитални сигнал, потребно је извршити његово кодирање што значи да се дискретне вредности сигнала представе групом цифара. Оно шта омогућава да се овакав сигнал кодира је чињеница да је он има коначан број амплитудних вредности у тачно одређеним временским тренутцима. Дигитализовани сигнал се обично представља помоћу дијаграма и табеларно, како то практично изгледа дато је на слици 7.



Слика 7. Представљање дигитализованог сигнала: а) и б) графички, ц) табеларно

Основна предност представљања сигнала помоћу графика је прегледност која је много боља него при табеларном приказивању. При кодирању потребно је изабрати нумерички систем који ће се користити, и по правилу користи се бинарни нумерички систем.

Према [4] ако дигитална реч садржи k бита, то значи да аналогни улазни сигнал садржи 2^k квантних нивоа, односно $2^k - 1$ нивоа различитих од нуле. Тиме дужина дигиталне речи на излазу кодера одређује резолуцију при конверзији. На примеру датом у [4] речено је да ако се на пример, квантизирање врши са речима дужине $k=10$ бита, резолуција је $1/2^{10}$. За улазни сигнал од 5V резолуција би била 5/1024V односно око 5mV.

3. Алати коришћени при аквизацији и визуелизацији података

У овом раду је коришћено више алата како софтверских тако и хардверских, чија ће примена бити показана у даљем тексту.

3.1. NI USB 6008 АД/ДА конвертор

"NI USB 6008" је АД/ДА конвертор који је коришћен за трансформацију аналогних сигнала са излаза уређаја DL2312HG у дигиталне сигнале који су касније приказивани помоћу програмског пакета "Matlab" и "LabView".

NI6008 картица поседује осам конекција, осам канала, за аналогни улаз (AI-analog input), два канала за аналогни излаз (AO-analog output). Такође поседује 12 дигиталних улазно/излазних канала (DIO digital input/output) и 32-битни бројач са USB интерфејсом.

Основне карактеристике NI USB 6008 АД/ДА конвертера су дате у табели под редним бројем 1.

Карактеристика	NI USB 6008
AI резолуција	12 - бита диференцијални мод 11 - бита ``single - ended`` мод
Максималан број одабирака у секунди (sample rate)	10kS/s
Максимална вредност улазног напона (U_0)	$\pm 10V$
Максимална вредност разлике напона при диференцијалном мерењу (Upp-point to point)	20 V
DIO конфигурација	Open collector што одговара хардверској функцији Open-drain**

Табела 1. Карактеристике NI UB 6008

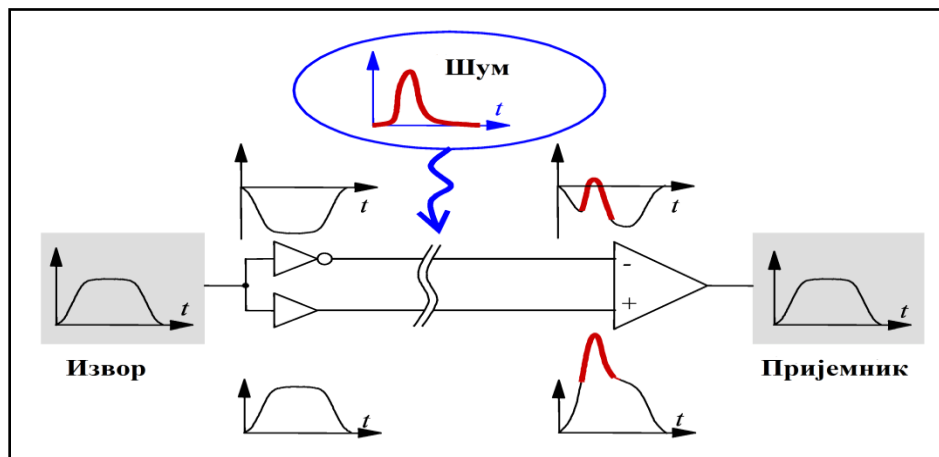
Да би се разумела терминологија која се јавља при објашњењима одређених карактеристика потребно је објаснити одређене термине.

Прво је потребно објаснити појам "Single-ended signaling". Овај појам дефинише најједноставнију и најчешће коришћену методу преноса и аквизације сигнала преко жица. Једна жица у систему преноси променљиву волтажу која репрезентује сигнал, док је друга жица повезана на референтну вредност волтаже, обично је у питању уземљење (Ground - GND). Постоји алтернатива "Single-ended signaling"-у и то је "Differential signaling", " који се такође јавља као опција при избору методе за аквизацију података у оквиру опција које нуди "NI USB 6008" картица. "Single-ended signaling" је јефтинија варијанта аквизације сигнала, јер је јефтинија његова имплементација од "Differential signaling"-а, али поседује ману да не може да одбаци шуме који се јављају због:

1. Разлике волтаже земље, која се јавља између кола које даје сигнал и кола које прима сигнал;
2. Постојања индуктивности у жици којом се доводи сигнал;

Главна предност "Single-ended signaling"-а у односу на "Differential signaling" јесте да је метода мерења једноставнија и да је потребно мање жица да се преносе сигнали. Ако узмемо и упоредимо ова два начина мерења видимо да ако постоји k сигнала, тада је $k+1$ број жица који је потребан да би се успешно мерило. Овај број је толики јер је за сваки сигнал из скупа k сигнала потребна по једна жица а са $+1$ је представљена земља. У поређењу са овим, код "Differential signaling"-а је потребна најмање $2k$ жица. Још једна мана "Single-ended signaling"-а јесте да се све струје, за све сигнале сусрећу и деле исти проводник и у случају да се користе одвојена уземљења, она су међусобно повезана на крајевима. Ова појава изазива међусобно интерференцу сигнала, односно утицај једног на други.

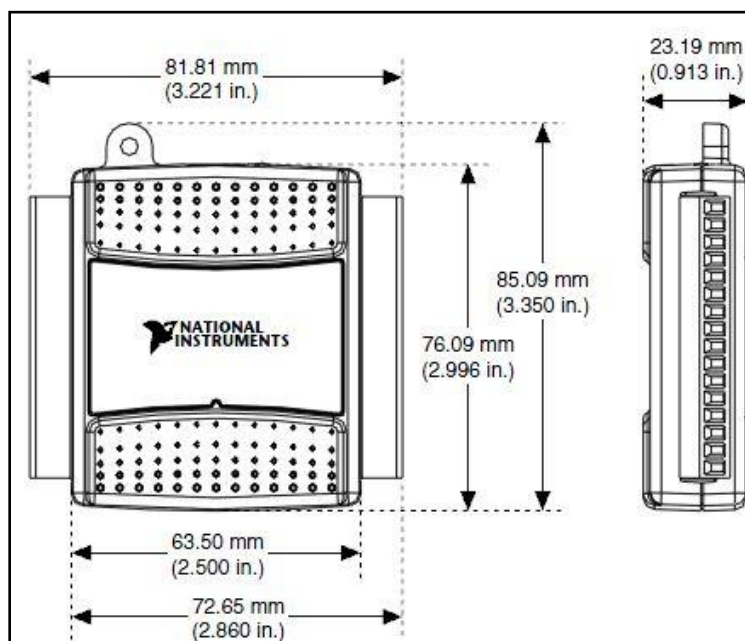
"Differential signaling" је метода преношења информација електричним путем са два комплементарна сигнала послата са две упарене жице које се називају диференцијални пар. Пошто спољашњи утицаји теже да утичу на обе жице заједно, информација је послата кроз разлику вредности те две жице сметње су сведене на минимум. Практично шта се ту дешава дато је на слици 8.



Слика 8. Шема принципа диференцијалног преноса сигнала

На слици 8. јасно се види шта је суштина оваковог вида мерења и преноса сигнала те да се сметње отклоне тако што се са једне стране инвертује и након тога се одузме, чиме се оне елиминишу.

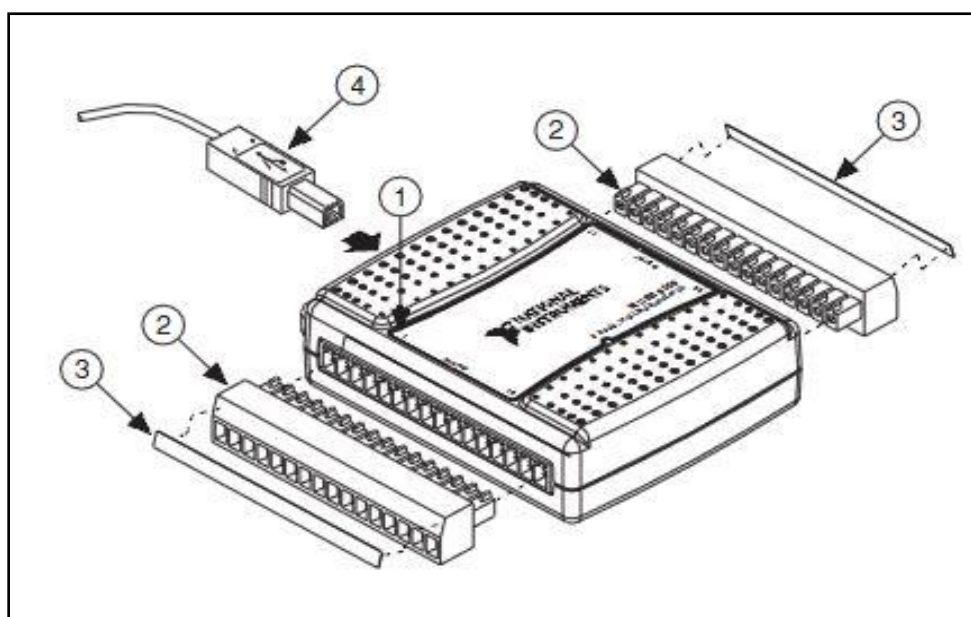
Сам изглед и димензије "NI USB 6008" картице дати су на слици 9. Дат је поглед спреда и са стране. Димензије су дате у милиметрим и инчима.



Слика 9. Изглед и димензије "NI USB 6008" картице

Више о општим мерама опреза при раду са овом картицом може се наћи на ni.com/manuals, у овом раду неће бити наведени ти услови јер то излази из оквира наведене теме, већ ће бити дате основне шеме уређаја неопходне за даљи рад и праћење излаганог материјала.

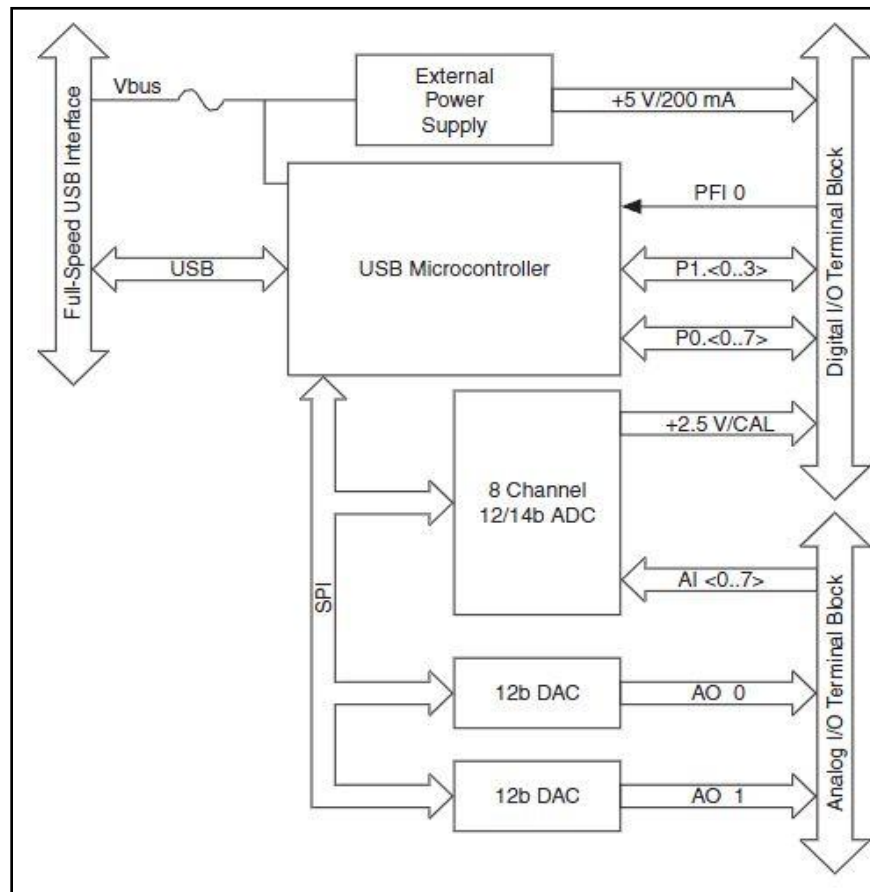
На слици 10. су приказане додатне компоненте које се додају на картицу ради лакшег коришћења и њеног повезивања са компјутером и одговарајућим софтверима.



Слика 10. Шема повезивања додатних компоненти са NI6008

Са редним бројем 1 је означена сама NI6008 картица и означено место са редним бројем један које означава први аналогни улаз. Ова ознака је битна ради правилног одабирња терминала који се користи и представља оријентацију за све остале. Са редним бројем 2 су означени прикључци који се са једне стране једноставно повезују са NI6008, а са друге стране је направљен механизам за једноставно и квалитетно повезивање жица преко којих се преноси сигнал. Са редним бројем 3 су означене налепнице које се лепе на додатак ради дефинисања терминала на који се односи. И са редним бројем 4 је приказан УСБ кабл којим се картица повезује са компјутером.

Да би се стекао увид у начин функционисања картице и разумео проток информација дат је блок дијаграм на слици 11. са основним компонентама NI6008 на коме се види како су оне међусобно повезане.



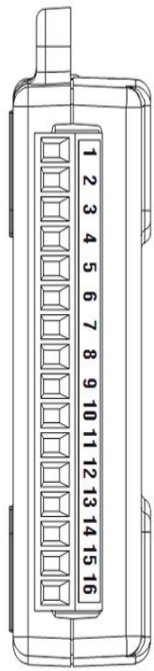
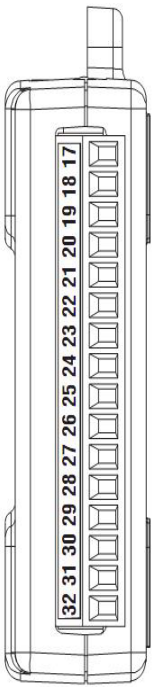
Слика 11. Блок дијаграм NI6008 картице

У случају да је све добро повезано, на NI6008 картици треба да засветли зелена лед диода поред USB конектора. Статус лед диоде одговара статусу саме картице и на основу тога се може пратити рад картице. У табели 2. је дат приказ статуса светла у односу на статус уређаја.

Статус диоде	Статус NI6008 картице
Не светли	Картица није конектована
Светли константно, не трепери	Картица је конектована
Константно трепери	Картица је конектована и ради нормално

Табела 2. Статус картице у односу на статус лед диоде

Када је статус картице познат и када је картица правилно повезана може се почети са аквизацијом сигнала. Као што је већ наведено картица поседује аналогне и дигиталне терминале, као и могућности бирања начина аквизације сигнала на "Single-ended signaling" и "Differential signaling". Да би се јасно знало које терминале, од тридесет и два терминала колико их има укупно, је потребно користити дат је њихов сликовит приказ са означеним редним бројем терминала и његовом улогом у зависности од принципа аквизације и преноса сигнала који је изабаран. Тај приказ се може видети на слици 12.

Погледа са леве стране	Терминал	Сигнал, "Single-Ended Mode"	Сигнал, "Differential Mode"	Поглед са десне стране	Терминал	Сигнал
	1	GND	GND		17	P0.0
	2	AI 0	AI 0+		18	P0.1
	3	AI 4	AI 0-		19	P0.2
	4	GND	GND		20	P0.3
	5	AI 1	AI 1+		21	P0.4
	6	AI 5	AI 1-		22	P0.5
	7	GND	GND		23	P0.6
	8	AI 2	AI 2+		24	P0.7
	9	AI 6	AI 2-		25	P1.0
	10	GND	GND		26	P1.1
	11	AI 3	AI 3+		27	P1.2
	12	AI 7	AI 3-		28	P1.3
	13	GND	GND		29	PFI 0
	14	AO 0	AO 0		30	+2.5 V
	15	AO 1	AO 1		31	+5 V
	16	GND	GND		32	GND
Аналогни терминал				Дигитални терминал		

Слика 12. Приказ редних бројева терминала и њихових функција

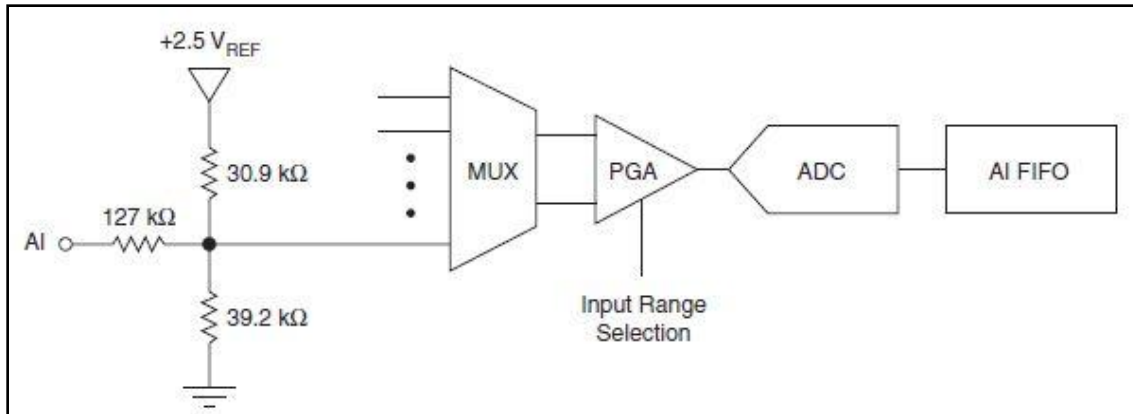
На слици 12, у опису сигнала на терминалима појављују се скраћенице које су ту да би приказ био прегледнији. Те скраћенице потичу од назива сигнала који се ту јављају и може се интуитивно наслутити о којим сигналимa је реч, али ипак ће бити дат опис значења тих скраћеница. Опис скраћеница се може наћи у табели под редним бројем 3.

Име сигнала	Референца	Улаз/Излаз	Опис
GND	-	-	"Ground"- Представља референтни потенцијал при мрежу за аналогни улаз при "Single-ended signaling"-у, такође представља референтни потенцијал при: слању аналогног излаза са картице, за дигиталне сигнале, за напајање од +5VDC, за +2.5 VDC на У/И конектору.
AI	-	Улаз	"Analog Input Channels" (AI) - Служе за "Single-ended signaling" , сваки сигнал је улазни сигнал. Могу да се посматрају као позитивни и негативни улази при диференцијалном мерењу. Следећи парови канала служе за диференцијално мерење: AI<0,4>; AI<1,5>; AI<2,6>; AI<3,7
AO	GND	Излаз	"Analog output" (AO) - Представља аналогни напонски излаз.
P0	GND	Улаз или излаз	"Port 0" Digital I/O Channels 0 to 7 - На овим терминалима постоји могућност да се појединачно дефинише да ли је сигнал улазни или излазни
P1	GND	Улаз или излаз	"Port 1" Digital I/O Channels 0 to 7 као и P0 може се појединачно подешавати да ли је сигнал улазни или излазни сигнал.
PFI 0	GND	Улаз	Овај пин може да се конфигурише као дигитални окидач или као бројач у зависности од неопходне функције.
+2.5 V	GND	Излаз	На овом терминалу се добија референтни напон од 2.5 волти.
+ 5 V	GND	Излаз	Овај терминал представља извор напајања од +5 V и струје од 200mA

Табела 3. Објашњење скраћеница које се помињу на слици 2.

Шема која следи на слици 13. представља приказ регулисања улазног кола NI6008 картице. Ту се може видети да картица поседује један мултиплексер који регулише по један улазни канал у истом тренутку. То практично значи да ако је максимална фреквенција одабирања 10kS/s и ако имамо улаз на два канала, фреквенција одабирања се дели са два па добијамо два улазна канала са фреквенцијом одабирања 5kS/s. О томе се

мора водити рачуна, посебно ако се обрати пажња на Шенонову теорему одабирања која, како је већ наведено, каже да се мора имати два пута већа фреквенција одабирања од највеће фреквенције из спектра сигнала, док је пожељно да фреквенција буде пет пута већа. У том контексту, важно је обратити пажњу на карактеристике сигнала који се снима и визуализује. У односу на трансдјусер "DL2312HG" то значи да сигнали неких елемената неће моћи да се снимају уз помоћ NI6008 картице, већ ће се то радити уз помоћ неких других мерних инструмената.



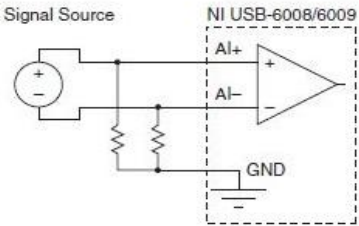
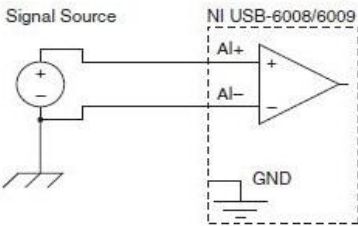
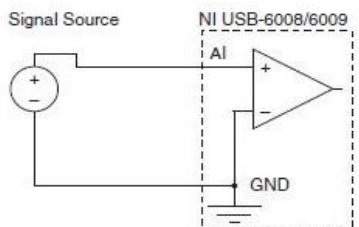
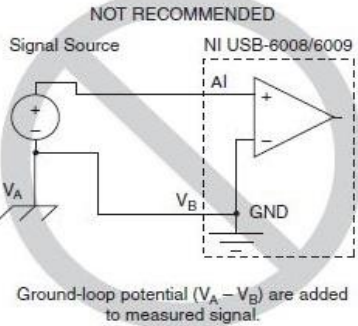
Слика 13. Шема аналогног улазног кола

На приказу шеме која описује улазно аналогно коло коришћени су различити блокови са различитим ознакама које је потребно објаснити.

- **MUX** - Представља мултиплексер који проводи један по један сигнал са аналогних улаза и затим шаље те сигнале до ПГА.
- **PGA** - Представља скраћеницу од "Programmable-Gain Amplifier", што значи да је то појачавач чије појачање може да се програмира, односно подешава. Вредности које може да узме су: 1,2,4,5,8,10,16,20 када се користи "Differential signaling" и може да узме вредност појачања 1 када се ради о "Single - ended signalig"-у. Вредност овог појачања се аутоматски рачуна у зависности од волтажног опсега који је подешен за мерење сигнала.
- **ADC** - Представља скраћеницу од "Analog to Digital Convertor" и његова улога је да аналогни улазни сигнал (напонски сигнал) претвори у дигитални код.
- **AI FIFO** - Помоћу NI6008 може истовремено да се снима више сигнала, односно да се врши њихова конверзија. При томе је важно да се подаци не изгубе. Овај блок представља бафер који чува податаке и спречава да се они губе.

Оно што је такође јако битно и на шта треба обратити пажњу при довођењу сигнала јесте начин повезивања за уземљење и који крај сигнала треба где да се доведе. Препоручене шеме за повезивање су дате на слици 14. На слици 14. су дати начини повезивања у зависности од начина довођења сигнала, односно да ли се ради о "Single-

ended signaling"-у или се ради о "Differential signaling"-у и у зависности од карактеристика самог сигнала, односно да ли се ради о такозваном плутајућем сигнлу, сигналу који није повезан са референтним потенцијалом већ има своју референтну вредност, или се ради о сигналу који је већ повезан са референтним потенцијалом (Ground-Referenced Signal).

Начин довођења аналогног сигнала	Сигнали који немају уземљење "Floating Signal Sources"	Сигнали који имају уземљење "Ground-Referenced Signal Sources"
"Differential Signaling"		
"Single - Ended Signaling"		

Слика 14. Приказ шема довођења сигнала на NI6008 картицу

3.1.1. Када се јавља "Floating Signal Sources" а када "Ground-Referenced Signal Sources" и коју методу довођења сигнала користити

"Floating Signal Sources" - Већ је наведено да је то извор сигнала који није конектован на уземљење већ потиче из уређаја који има свој локални, односно унутрашњи референтни потенцијал. Сигнали овог типа се могу наћи као излазни сигнали трансформатора, термопарова, батеријски погоњених уређаја итд.

Када користит "Differential signaling" са "Floating Signal Sources":

- Опсег посматраног сигнала излази из $\pm 10V$.
- Улазни сигнал је мале вредности а захтева се добра прецизност.
- Жице којима се преноси сигнал су дуже од 3m.
- Улазни сигнал захтева одвојено референтно уземљење или повратан сигнал.
- Проводници сигнала пролазе кроз средину у којој се јављају шумови.

Када користити "Single-ended signaling" са "Floating Signal Sources" сигнаlima:

- Када улазни сигнал дели заједничку референтну тачку (референтни потенцијал), са осталим сигнаlima који се мере.
- Опсег мереног сигнала не прелази $\pm 10V$.
- Проводници који проводе сигнал ниси дужи од 3m.

У "Single-ended signaling" модулу, јавља се више електростатичког шума као и магнетних сметњи који неповољно утичу на мерени сигнал него што је то при деференцијалном мерењу.

"Ground-Referenced Signal Sources" се односи на извор сигнала који је конектован на главно (заједничко) уземљење, односно на нулти потенцијал. Практично, то значи да је компјутер повезан на исто напајање као и извор сигнала. Разлика потенцијала уземљења између два уређаја који су повезани на заједнички извор напајања обично износи од 1mV до 100mV, али разлика може бити и знатно већа у случају да кола за дистрибуцију снаге нису правилно изведена.

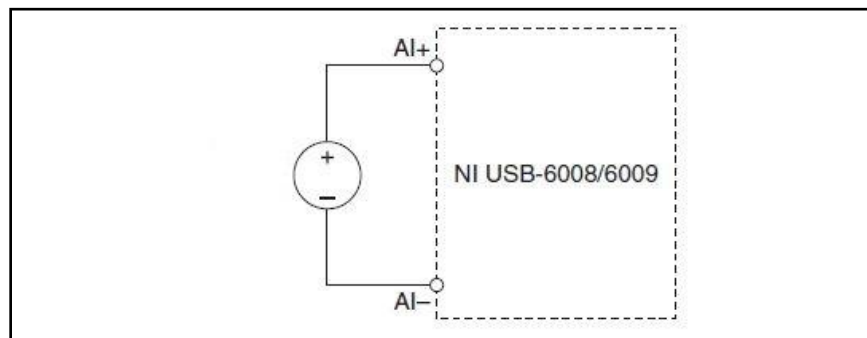
Када користити "Differential signaling" са "Ground-Referenced Signal Sources"

- Опсег посматраног сигнала излази из $\pm 10V$.
- Улазни сигнал је мале вредности а захтева се добра прецизност.
- Жице којима се преноси сигнал су дуже од 3m.
- Улазни сигнал захтева одвојено референтно уземљење или повратан сигнал.
- Проводници сигнала пролазе кроз средину у којој се јављају шумови.

Напомена: Не треба користити "Single-ended signaling" са сигнаlima чији је извор "Ground-Referenced Signal Sources" јер, као што је приказано у доњем десном углу на слици 14, може постојати разлика потенцијала између уземљења што узрокује грешке при мерењима.

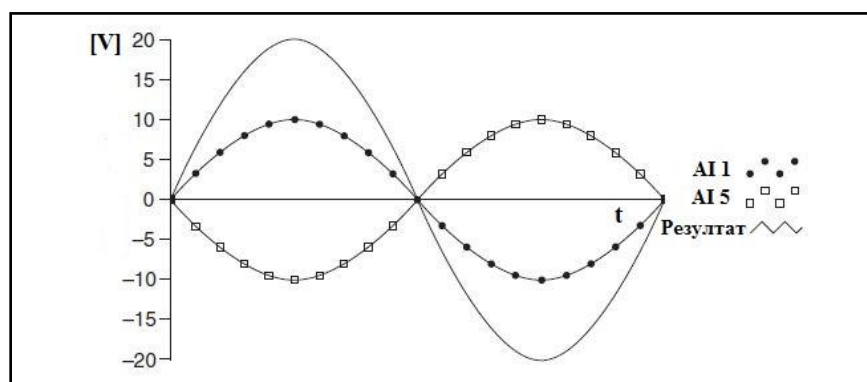
3.1.2. Снимање сигнала "Differential signaling" методом.

Шема повезивања за ову врсту методе аквизације сигнала дата је на слици 15. На њој се види да је неопходно повезати позитиван крај извора сигнала на позитиван терминал аналогног улаза (AI+), а негативан крај извора сигнала на негативан терминал аналогног улаза (AI-). Овај начин повезивања мора бити испоштован да би мерење овом методом могло да буде успешно изведено.



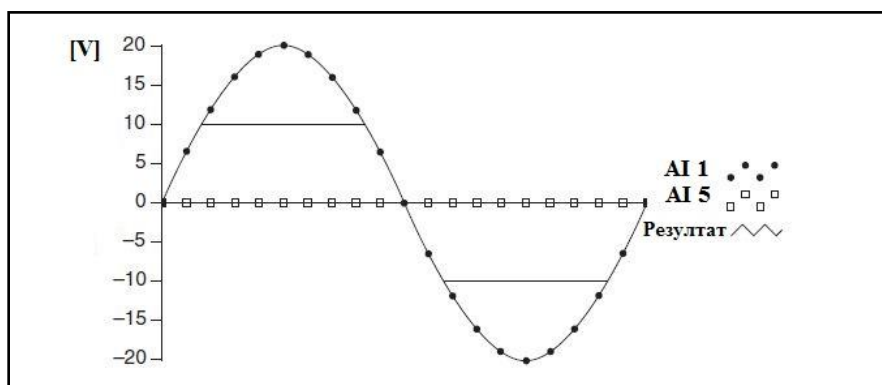
Слика 15. Шема повезивања при снимању сигнала "Differential signalig" методом

Овом методом се могу мерити сигнали чији је опсег $\pm 20V$, али ипак се мора водити рачуна да је и у том случају максимални улазни напон на свим каналима $\pm 10V$. Узмимо пример на коме ће се ово разјаснити: ако је улазна вредност на AI 1 $+10V$, а улазна вредност на AI 5 $-10V$ тада је мерена вредност сигнала $+20V$. Графички је ово представљено на слици 16.



Слика 16. Приказ вредности напона на улазима AI 1 и AI 5, као вредност сигнала који су њима дефинисани

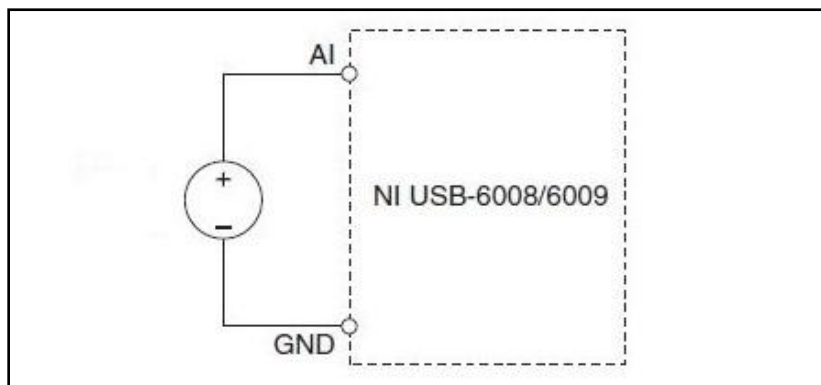
У случају да се на терминалима доведе напон који је већи од $\pm 10V$, резултујући сигнал се одсеца, односно улази у засићење. Пример тога је дат на слици 17.



Слика 17. Приказ засићења излазног сигнала када је улазни сигнал преко $\pm 10V$

3.1.3. Снимање сигнала "Single-ended signaling" методом.

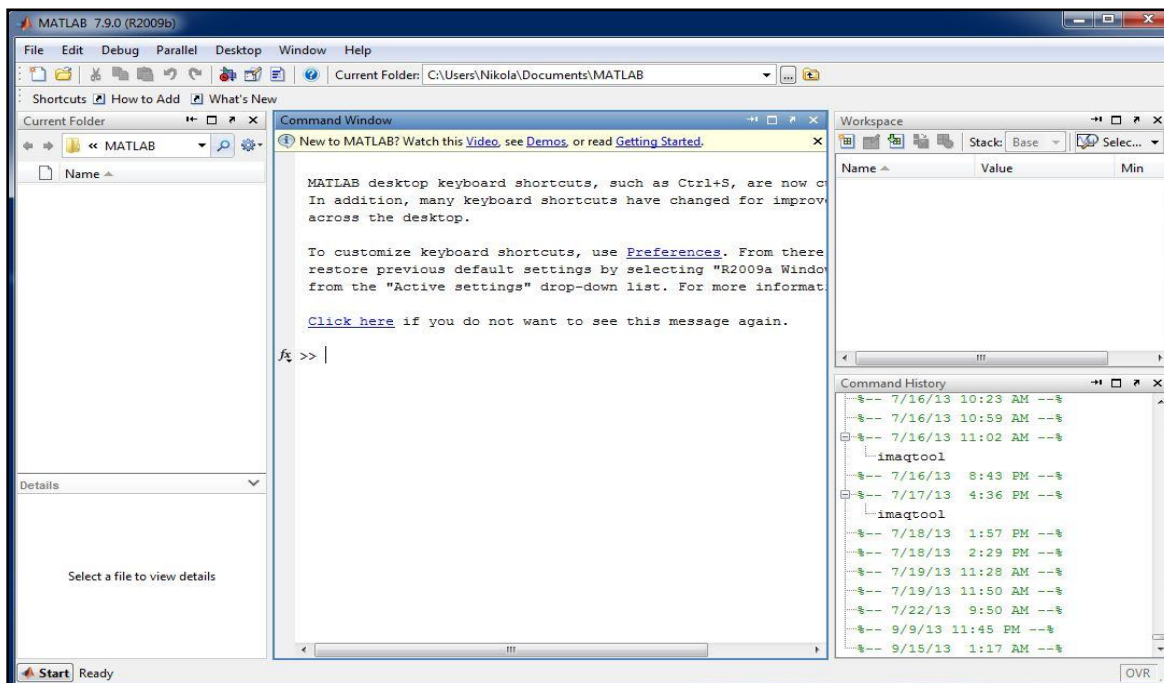
За правилно снимање сигнала овом методом неопходно је позитиван крај повезати са AI терминалом, а уземљење на GND терминал, као што је приказано на слици 18.



Слика 18. Шема повезивања при снимању сигнала "Single-ended signalig" методом

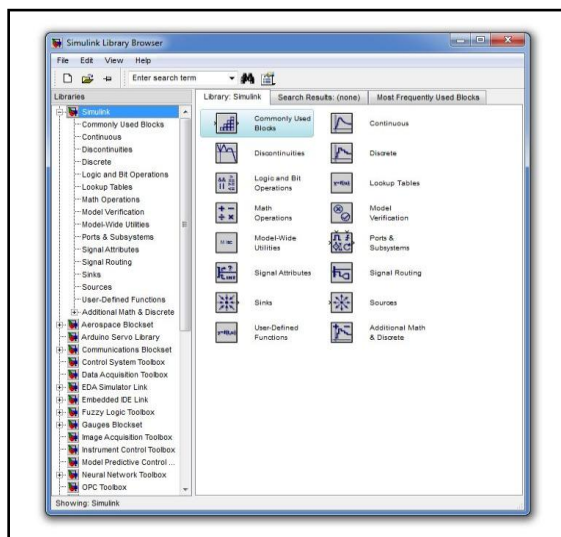
3.2. Програмски пакет "Matlab"

Матлаб је ширконаменски програмски језик који има и ту могућност да је могуће праћење сигнала у реланом времену. Прво шта се види када се отвори Matlab јесте радна средина која се види на слици 19.



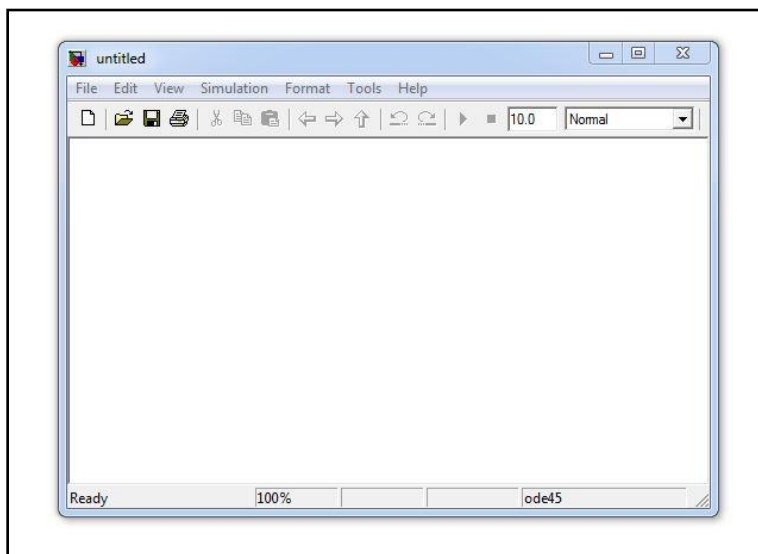
Слика 19. Радни прозор у Matlab-у

Након тога потребно је селектовати икону за покретање подпрограма Simulink и покренути подпрограм. Када се подпрограм покрене појављује се радни прозор као на слици 20.



Слика 20. Приказ библиотеке Simulinka

Са леве стране се налазе библиотеке у којима се налазе блокови са функцијама, а на десној страни се налазе блокови из библиотеке. Да би се повезали Matlab и NI6008 потребно је отворити нови модел. Када се отвори нови модел добија се прозор као на слици 21.



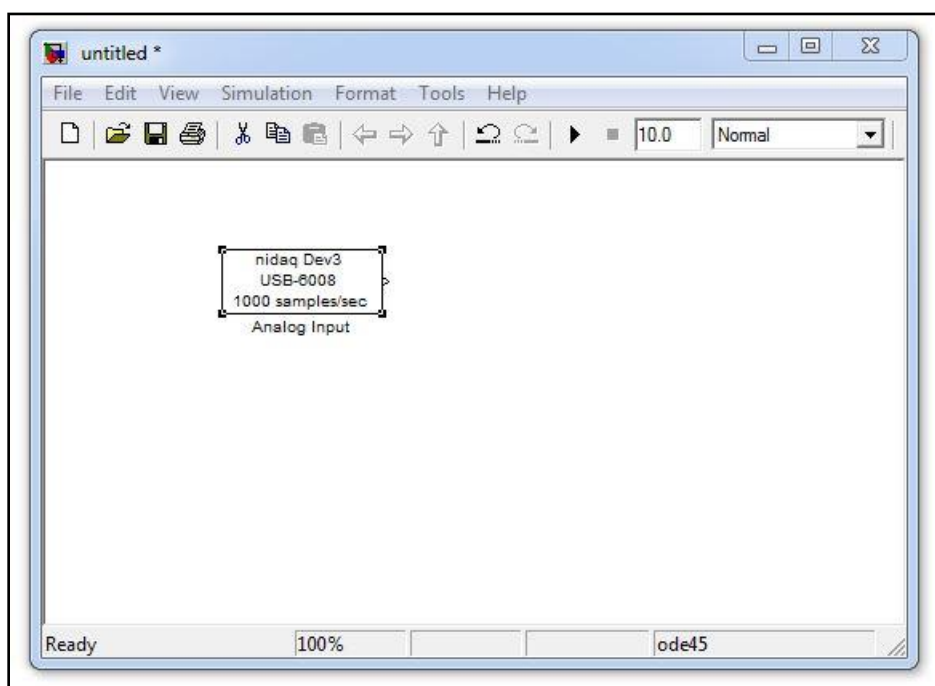
Слика 21. Прозор новог модела

Прозор новог модела служи да се у њему прави блок шема помоћу које се врши аквизација и визуализација сигнала са NI6008 картице. Када је нови модел отворен потребно је убацити блокове и формирати блок дијаграм мерења. У овом случају шема

блок дијаграма је јако једноставна. Прво је потребно из библиотеке "Data Acquisition Toolbox" који има следеће блокове:

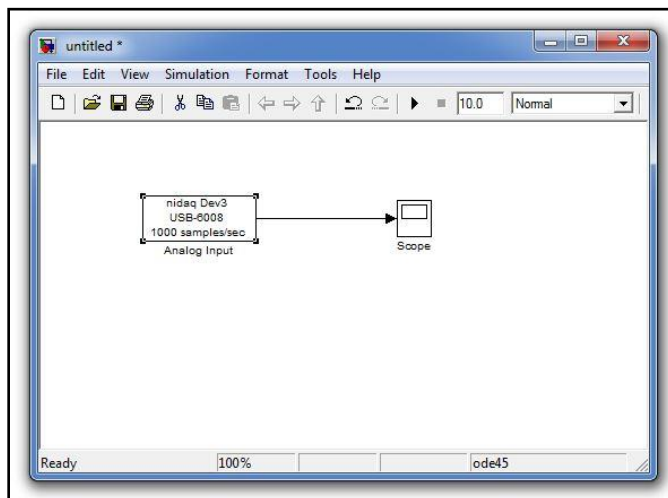
1. Analog Input,
2. Analog Input (Single Sample),
3. Analog Output,
4. Analog Output (Single Sample),
5. Digital Input,
6. Digital Output,

одабрати "Analog Input" блок и поставити га на радни лист модела. Када се постави, добија се изглед као на слици 22.



Слика 22. Постављен блок за аналогни улаз

Када се постави блок за аналогни улаз, Matlab сам претпостави да је улаз са NI6008 картице. По стандарду је у старту подешено да је фреквенција одабирања износи 1000S/s. Ово се може изменити, и то ће бити представљено како. Када је завршено дефинисање улаза потребно је да се постави "Scope", блок који служи за визуализацију сигнала. "Scope" се може наћу у библиотеци Simulink/Commonly Used Blocks. Када се постави и повеже са "Analog Input" блоком добија се шема као на слици 23.

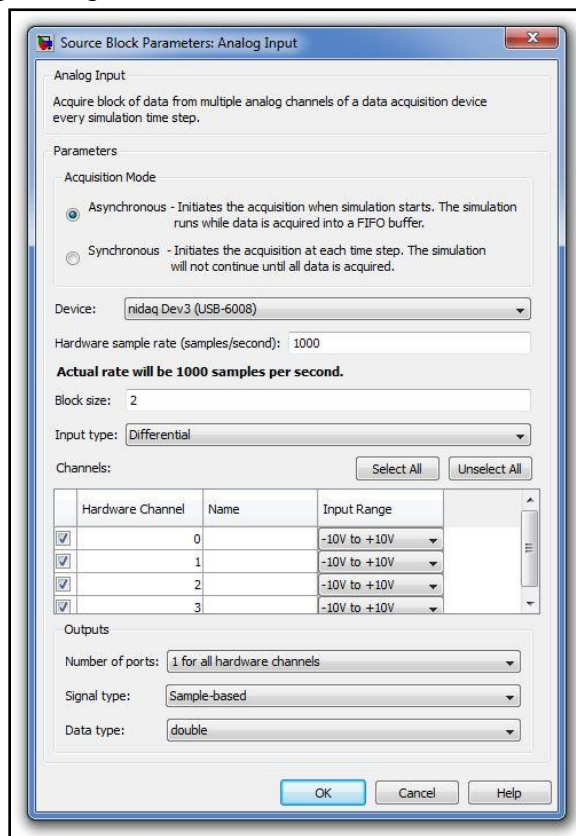


Слика 23. Повезивање Scope-а са Analog Input-ом

Поред Scope-а може се користити и display блок али он показује само тренутне вредности.

3.2.1 Дефинисање улазних карактеристика

Двокликом на блок Analog Input отвара се прозор као на слици 24 у коме се врши подешавање улазних параметара.



Слика 24. Прозор за подешавање улазних параметара

Прва опција која се јавља јесте мод аквизације. Постоје два мода аквизације:

1. Асинхрони мод аквизације
2. Синхрони мод аквизације

Асинхрони мод аквизације почиње са почетком симулације. Док симулација тече подаци се прикупљају у FIFO буферу.

Код синхроног мода аквизације, симулација не напредује док се податак не прикупи. При мерењу сигнала са уређаја DL2312HG потребно је користити асинхрони мод.

Друга опција јесте да се изабере аквизацијски уређај. Ова опција постоји ако постији још неки уређај који може да мери податке околине (микрофон). Изабрани уређај увек треба да буде NI6008.

Трећа опција која може да се подеси јесте број одабирака у секунди. При коришћењу NI6008 картице тај број је ограничен на 10kS/s ако се мери један улазни сигнал, односно 5kS/s ако се мере два улазна сигнала.

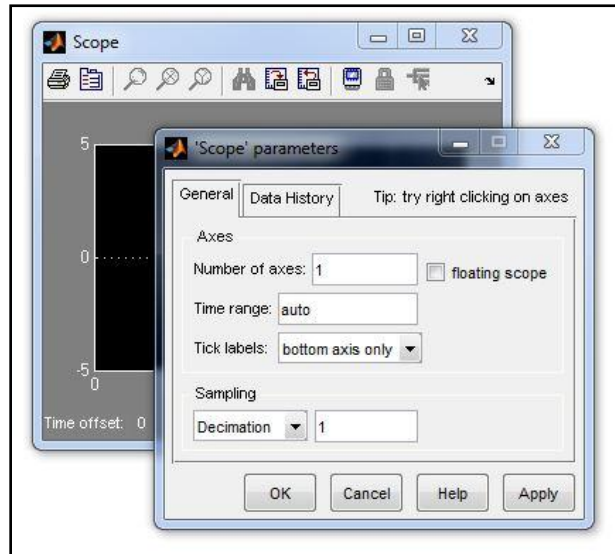
Четврта опција јесте величина блока, која може да остане стандардна.

Пета опција је уједно и најважнија опција и то је избор типа мерења. Може бити "Single-ended signaling" или "Differential signalign". Разлике при мерењу су велике стога треба бити опрезан са овом опцијом. Јер од њеног избора зависи и распоред повезивања сигнала са NI6008 картицом.

Шеста опција је избор канала који мере. Могу се ставити сви у употребу а може и само један. Број канала који могу да се пусте у рад зависи од методе мерења. Код диференцијалног мода мерења могу се активирати четири канала за мерење, а код RSE мерења може бити активно осам канала. Избор канала се врши по сопственом избору само је потребно да се води рачуна и томе да сваки канал има своје термinals на NI6008 картици и при повезивању картице са мереним сигналим треба водити рачуна о подударности истих.

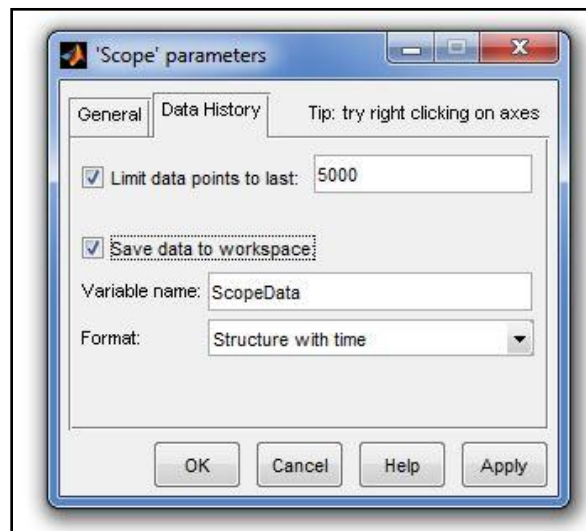
3.2.2 Дефинисање излазних карактеристика

Двокликом на Scope се отвара приказ графика, који нема никакве сигнале док се сигнали не измере. На том приказу графика постоји опција да се подешавају параметри. Слика 25.



Слика 25. Приказ параметара Scope-а

При покретању параметара прво се отвара опција General. Ту постоји могућност одабира броја оса (number of axes), временског опсега у коме ће да ради Scope. Такође постоји могућност да се стави да Scope постане Floating scope. Разлика је у томе што Floating scope не мора да буде везан за улазни напон, већ он представља на графика све сигнале из његове околине. Када се пребаци са General картице на Data History, добијају се опције дате на слици 26.

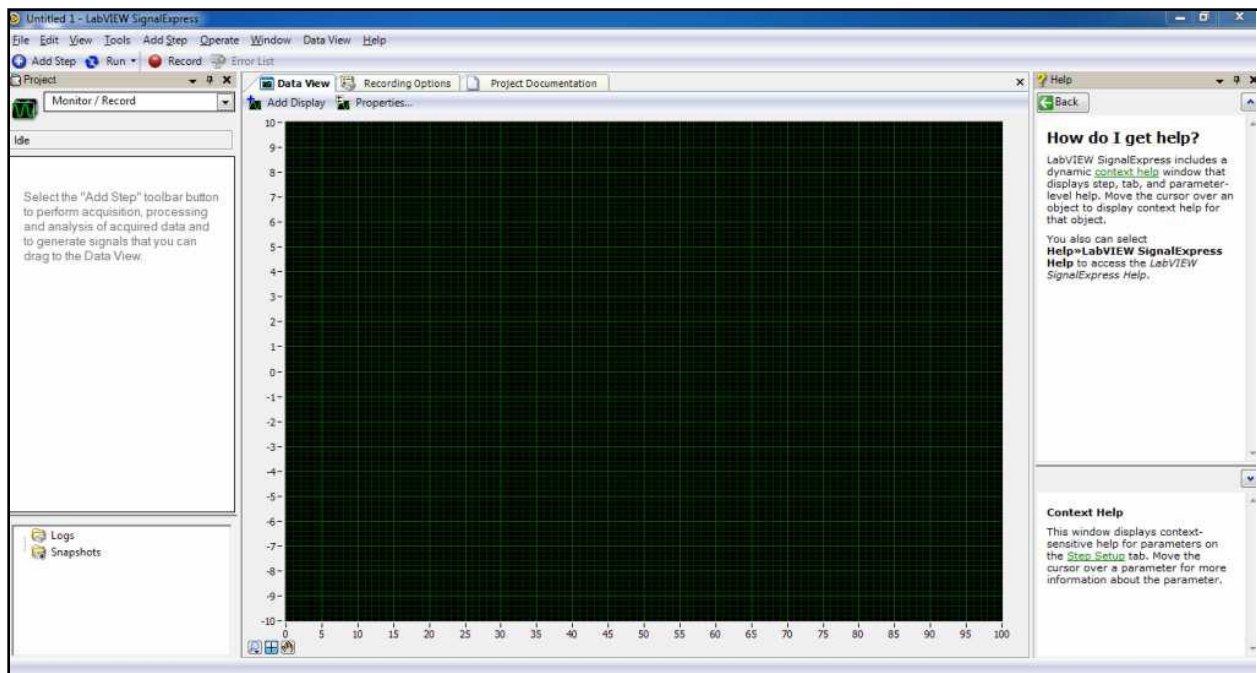


Слика 26. Подешавање параметара излазног сигнала када је активна картица Data History

Када је активна картица Data History, може се подесити меморијски лимит података (Limit data points to last). Најједноставнија опција је искључити ову могућност али тада постоји могућност да се меморија препуни. Постоји и опција да се сигнал запамти у облику матрице или низа и да се пошаље у радни прозор, и да се ти подаци касније искористе за нешто. Када је све подешено подеси се још и дужина трајање симулације, која треба да буде дужа од трајање мерне карактеристике. Након тога може да се отпочне са мерењем.

3.3. LabView - LabVIEW Signal Express

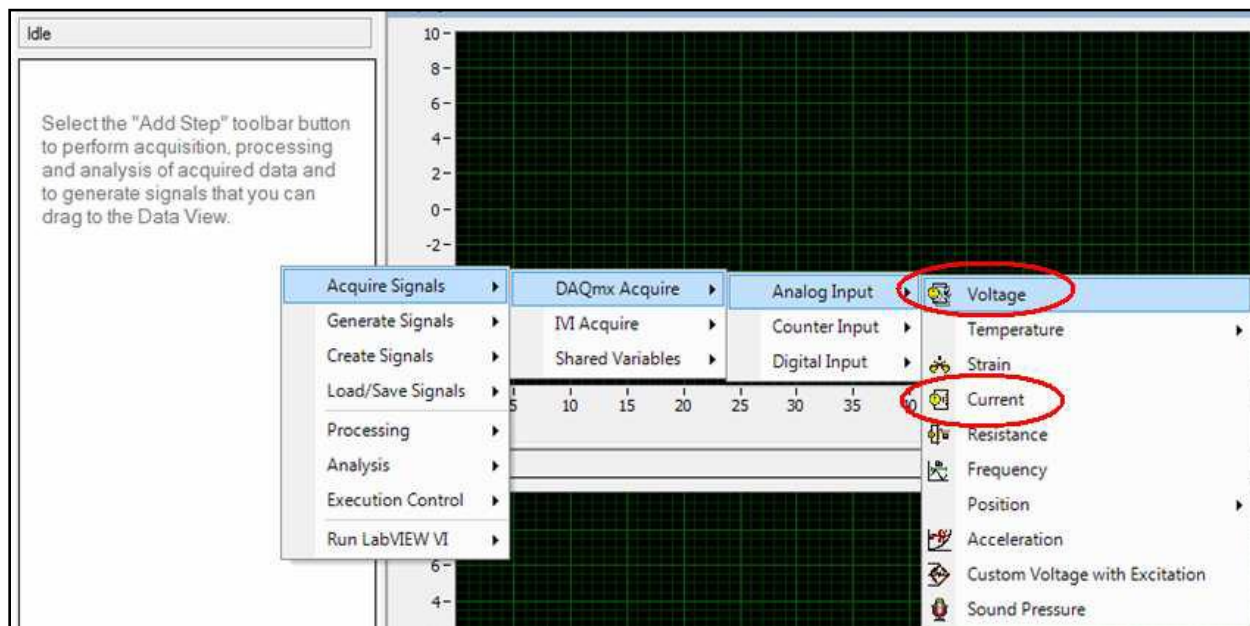
Сигнали са лабораторијског система DL2312HG мерени су и уз помоћ LabView Signal Express-a, који представља посебан део LabView-a и служи само за мерење и приказивање сигнала. Када се стартује појављује се програм чији радни део изгледа као на слици 27.



Слика27. Изглед радног дела LabView Signal Express-a

При мерењима више сигнала чије су вредности веома различите, лакше се врши скалирање сигнала и паралелно праћење свих сигнала. Да би се покренуло мерење, NI6008 картица мора бити повезана са рачунаром. Када је све повезано како треба (стандардно повезивање сигнала са картицом, и картице преко USB-a са рачунаром) може да почне мерење. Прво је потребно кликнути на дугме Add Display и тиме се додаје још један дисплеј па је тако омогућено праћење два сигнала истовремено. Након тога десним кликом кликнути на леву страни програма и отвара се падајући мени из кога се бира

жељени задатак. Исто то се може постићи ако се кликне на опцију Add Step. Овај процес је приказан на слици 28.



Слика 28. Избор жељеног мерења

Када се дефинише величина која се мери отвара се мени где се врше подешавања за улазне излазне параметре као у Matlab-у. Све опције су исте, само је распоред различит. Исто се у истом прозору подешава принцип мерења, мод аквизације, фреквенција одабирања итд.

Предност LabVIEW Signal Express-a је једноставност употребе, добра прегледност сигнала. Већину ствари сам препознаје, препознаје NI6008 картицу, само је потребно дефинисати који канали су укључени. Да би аквизација отпочела потребно је притиснути дугме Record (и овај поступак је сличан као код Matlab-a).

4. Опис елемената и начина аквизације података са елемената лабораторијског система "DL2312HG"

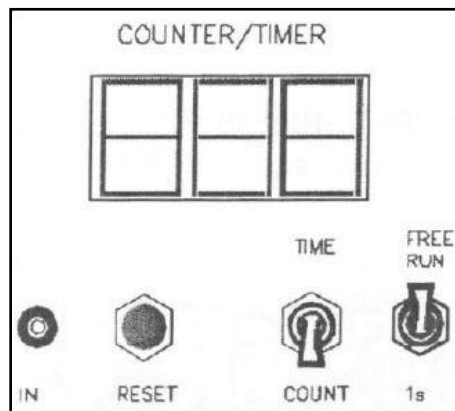
Након што је детаљно описано како користити све неопходне алате за аквизацију података са овог лабораторијског система, сада ће бити конкретно показано како се врши аквизација са одређених елемената које овај систем поседује. У опису елемената и аквизације сигнала са истих биће праћен редослед објашњења као и упутству за коришћење које се добија уз лабораторијски систем "DL2312HG". Потребно је напоменути да ће шема повезивања бити дата за сваки елемент појединачно где је то могуће, док ће за елементе на којима није могуће изоловано мерити сигнал бити дата шема сложенијег кола које тако нешто омогућује.

4.1. Дисплеји уређаја "DL2312HG"

Проучавани систем поседује неколико једноставних дисплеја који се могу користити за праћење одређених карактеристика сигнала. Они не поседују могућност чувања података и служе само за тренутно праћење карактеристика.

4.1.1. "Counter/Timer" - Бројач

Овај елемент се налази на централном делу уређаја "DL 2312HG", његов изглед је дат на слици 29.



Слика 29. Изглед бројача

Састоји се од седмосегментног дисплеја са три цифре, улазног контакта и два прекидача чији положај дефинише карактеристику која се мери. Улазни сигнал се доводи тако што се проводник повеже на контакт који је означен са "IN" што представља скраћеницу од енглеске речи "input".

Постоје три различита начина на које бројач може да ради, и то су:

1. Као мерач времена, односно као штоперица која региструје секунде као најмању временску јединицу. Да би бројач радио на овај начин неопходно је подесити први од два прекидача на "TIME". Тада се у рад пушта осцилатор од 1Hz. Радни опсег му је од 1 секунде до 999 секунди због ограниченог приказа дисплеја.
2. Као бројач. Да би елемент радио у овом моду неопходно је поставити први прекидач на "COUNT", а други прекидач на "FRE RUN". У овом моду бројач повећава своју вредност за један сваки пут када улазни напон пређе из логичке нуле у логичку јединицу.
3. Као мерач фреквенције. У случају да је неопходно да се мери фреквенција и потребно је активирати овај мод на елементу, потребно је први прекидач поставити на позицију "COUNT" а други прекидач на позицију "1s". Када се поставе прекидачи на ову позицију елемент приказује број позитивних импулса улазног сигнала у једној секунди. Очитавање се тада врши у Hz.

"RESET" дугме ресетује бројач, враћа га на почетну вредност од 000 и може се поново почети мерење од нулте почетне вредности.

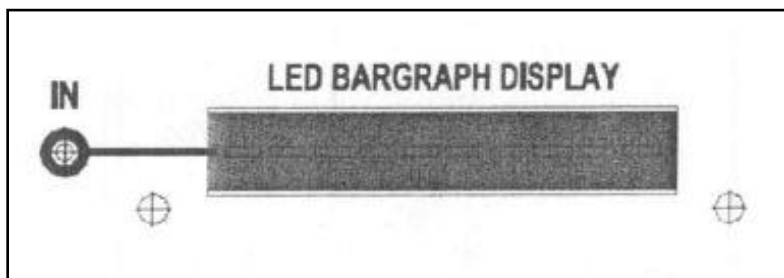
Као опција може се размотрити и случај да се карактеристика сигнала посматра и преко бројача и уз помоћ NI6008 картице. Тада је потребно само тај исти сигнал послати и на картицу и на бројач.

Што се тиче односа овог елемента са осталим елементима уређаја коме припада, треба напоменути да има заједничко уземљење са свим осталим елементима, па је потребно доводити само један крај сигнала (позитивни крај) да би се вршило мерење. То спада у групу "Single-ended signaling". Исто тако треба напоменути да максимална фреквенција која може да се мери износи 500Hz. Овим се искључује могућност мерења фреквенције сигнала са многих елемената уређаја "DL2312HG", јер је фреквенција излазног сигнала са њих знатно већа. Остале карактеристике су: улазна импеданса износи 1M Ω , максимални улазни напон +5V, интервали обраде 10ms, временска прецизност 5%.

4.1.2. "The LED baragraph display" Дисплеј од ЛЕД диода

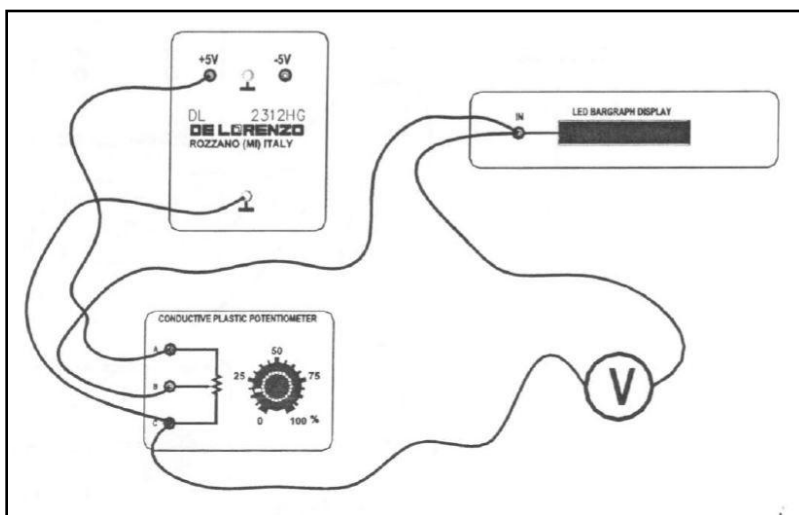
Овај елемент је првенствено намењен за лако, једноставно и брзо праћење промене вредности напона улазног сигнала. Изглед ЛЕД дисплеја је дат на слици 30. Састоји се од десет ЛЕД диода које су поређане у низу, тако да број упаљених диода говори о којој вредности напона је реч. Резолуција која је дата од стране произвођача између диода износи 0.5V. То доводи до закључка да је потребно најмање 5V на улазу да би последња ЛЕД диода засветлела. Елемент поседује велику улазу импедансу (10M Ω), малу временску константу, што одговара могућности да се прате брзе промене вредности напона, али вредности се не могу узети као потпуно тачне због лоше резолуције. Повезивање дисплеја

са улазним сигналом остварује се тако што се позитиван крај сигнала, излазни сигнал неког од других елемената, доводи на контакт ЛЕД дисплеја који је означен са "IN".



Слика 30. Изглед дисплеја сачињеног од ЛЕД диода

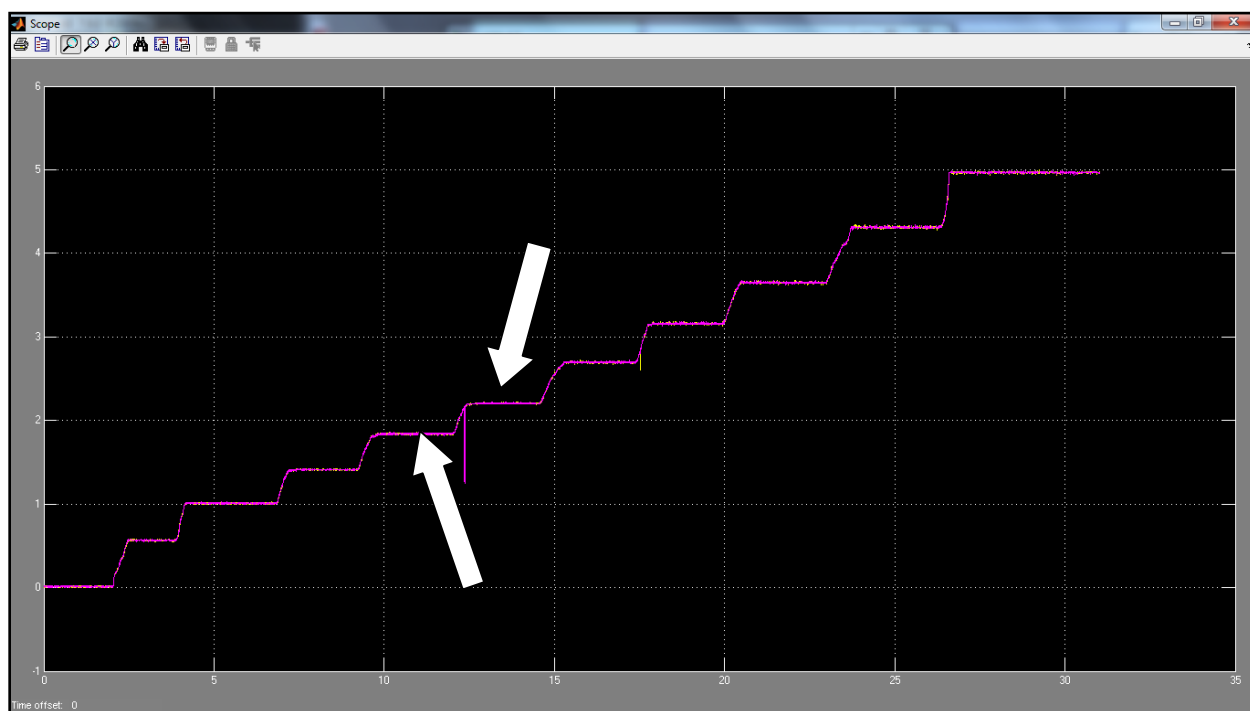
У поређењу снимане (снимање је извршено тако што је исти сигнал послат на елемент и на NI6008 картицу која је повезана са програмским пакетом "Matlab") карактеристике са датом карактеристиком долази се до закључка да и прелаз између две диоде није увек 0.5V. Шема повезивањ ЛЕД дисплеја је дата на слици 31. Напајање са извора од 5V се води на један крај потенциометра, док је други крај потенциометра повезан са уземљењем. Преко потенциометра се подешава вредност напона која се шаље на ЛЕД дисплеј.



Слика 31. Шема повезивања ЛЕД дисплеја са потенциометром

На слици 32. дат је приказ сигнала током времена који се слао на на улаз ЛЕД дисплеја са кратким периодима задржавања у тренуцима када наредна диода почиње да светли. Може се приметити, показано стрелицама на слици 32., да је прво одступање на 2V и односи се на тренутак када се пали четврта диода и следеће одступање је одмах након паљења следеће диоде. Детаљно обрађена карактеристика ЛЕД дисплеја може се видети у раду Милоша Милановића "Испитивање сензора и актуатора лабораторијског система DL2312HG". Овде је опис ове несавршености ЛЕД дисплеја дат да би се објаснила

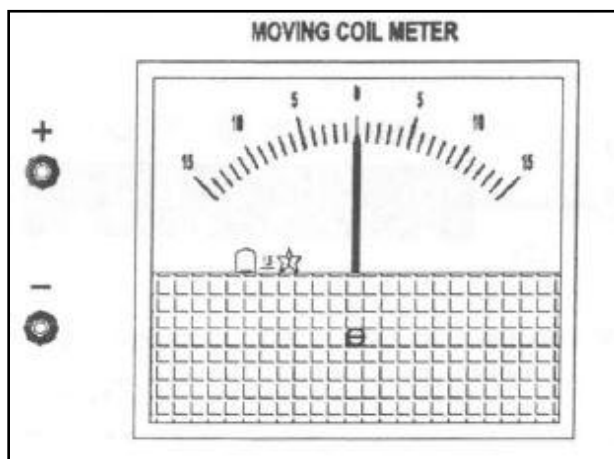
предност употребе осталих алата за аквизацију, док основна предност овог дисплеја лежи у томе да је једноставан за употребу.



Слика 32. Приказ промене улазног сигнала на ЛЕД дисплеј

4.1.3. "Moving Coil Meter"-Аналогни мерач напона и струје са покретним калемом

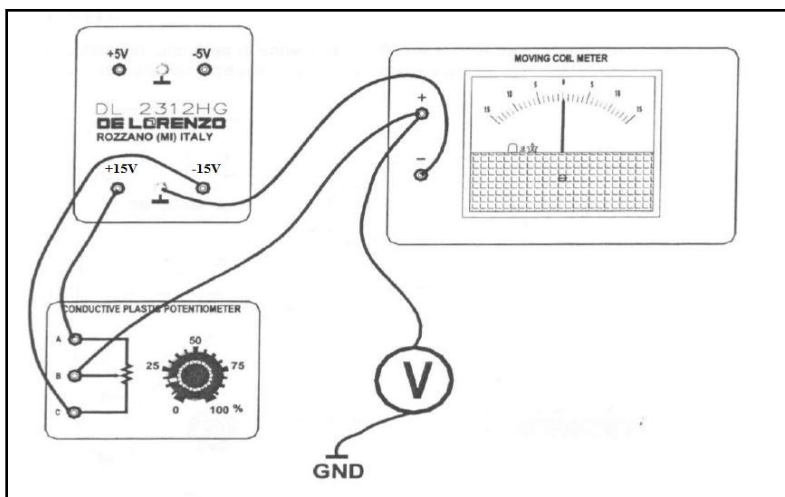
Још један у низу алата за мерење сигнала који долази уз DL2312HG је и аналогни мерач напона и струје. Његов изглед је дат на слици 33.



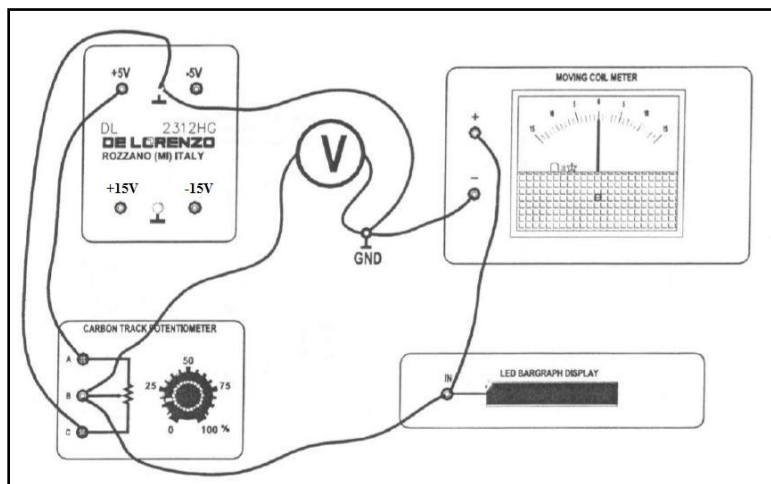
Слика 33. Изглед аналогног мерача напона и струје са покретним калемом

Опсег овог мерног инструмента износи $\pm 15V$. Принцип рада је једноставан и опште познат. Калем се налази између два перманентна магнета и за њега је системом полуга повезана игла. Када се доведе напон на калем, он се помера у зависности од вредности доведеног напона и у смеру који зависи од поларитета коме је изложен. Својим померањем помера иглу. Тај померај игле је избавдарен да представља вредност напона улазног сигнала који помера калем. На тај начин се врши визуализација сигнала. Својим опсегом овај мерни инструмент обухвата већину елемената система DL2312HG.

На сликама 34. и 35. су дати најједноставнији примери повезивања овог аналогног мерача са елементом чији излазни сигнал треба да мери.



Слика 34 Повезивање аналогног мерача са потенциометром



Слика 35. Повезивање аналогног мерача са потенциометром и ЛЕД дисплејом

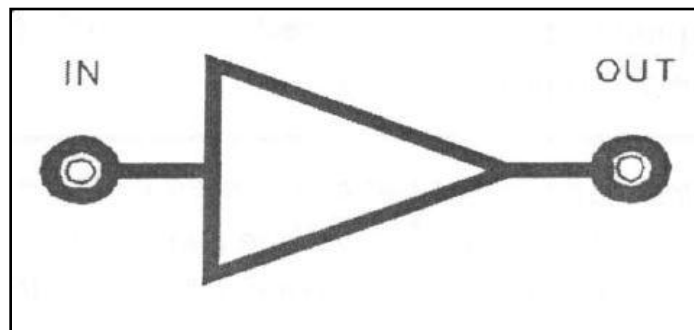
Са слике 34. може да се види да се напон на потенциометар доводи са извора напајања од 15V. И то +15V на контакт А и -15V на контакт С. Овим се постиже то да се могу преко потенциометра остварити сви напони у границама од -15V до +15V. Са контакта В се одводи вредност напона добијена на потенциометру на позитиван контакт

аналогног мерача док је негативан контакт аналогног мерача повезан на земљу. Када се повеже као на слици 34. може да се чита вредност напона који је на контакту В. На слици је такође приказано да се може сигнал истовремено одводити и на NI6008 картицу и тиме паралелно вршити мерења на два начина, или одабрати један погоднији.

Слика 35. представља шему повезивања ЛЕД дисплеја и аналогног мерача на исти извор напона, и дато је као пример могућности праћења истог сигнала на два начина. Такође, означено је место (V) где и како је могуће извршити повезивање са NI6008 картицом и тиме сигнале визуализовати помоћу софтверских пакета како је већ наведено.

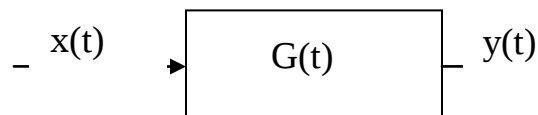
4.1.4. Појачавачи

Општи симбол појачавача је дат на слици 36.



Слика 36. Симбол појачавача

Сама назив овог елемента описује његову намену. Појачавач представља електрично коло које појачава улазни сигнал и појачану вредност сигнала даје на излазу из кола. Однос вредности излазног и улазног сигнала представља његову главну карактеристику и назива се појачање кола.



Слика 37. Представљање појачања кола као односа излазног и улазног сигнала

Са слике 37. може се видети и писати следеће:

$$G(t) = \frac{y(t)}{x(t)}$$

Са $G(t)$ је представљено појачање кола. Код кола коришћених на трансдјусеру DL2312HG, подешено је тако да када је улазни сигнал једнак нули излазни сигнал је исто тако нула. То је постигнуто офсет контролом излазног сигнала када је улазни сигнал 0. Иначе, код ових појачавачких кола постоји одређени излазни сигнал и када је улазни сигнал једнак нули.

На уређају DL2312HG постоје више појачавачких кола, али само три (појачавача једносмерних сигнала) која су намењена искључиво за ову намену, и то су:

1. Појачавач 1. "The amplifier 1", који има опсег појачања од 0.1 до 100.
2. Појачавач 2. "The amplifier 2", који такође има опсег појачања од 0.1 до 100.
3. Појачавач 3. "The amplifier x100", има фиксну вредност појачања 100 пута.

Као напомену, треба издвојити то да без обзира на улазну вредност сигнала и вредност појачања којој се улазни сигнал излаже, излазни сигнал никада неће прекорачити вредност засићења која му је постављена. У овом случају то износи око 14-15V. Стога је потребно водити рачуна о вредности улазног сигнала, да би се добила права карактеристика излазног сигнала а не вредност његовог засићења.

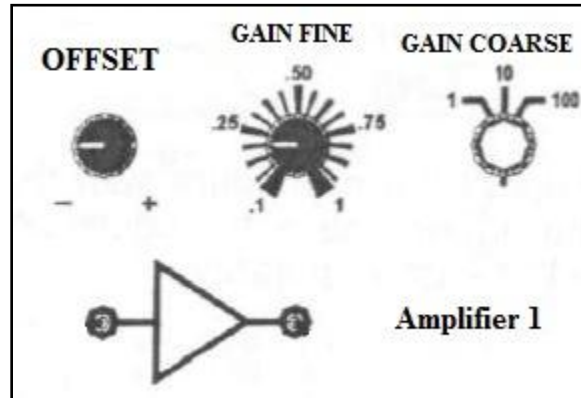
Карактеристике појачавача дате од стране произвођача дате су у табели 4.

Појачавачи 1 и 2	Улазни напон	12V max
	Грешка при појачању напона	30% max
	Улазна импеданса	100k Ω
	Вредност шума излазног сигнала	12mV
Појачавач x100	Улазни напон	12V max
	Вредност појачања	100
	Грешка при појачању	4%
	Вредност шума излазног сигнала	30mV max
	Улазна импеданса	100k Ω

Табела 4. Карактеристике појачавача дате од стране произвођача

Због чињенице да су појачавачи један и два потпуно индентични биће описан један од њих, појачавач 1, с`тим да све што се односи на њега односи се и на појачавач 2. Појачавач x100 биће представљен посебно.

4.1.4.1. Појачавачи 1 и 2 су појачавачи чија вредност појачања може да се мења и то у границама од 0.1 до 100. Овај распон је могуће постићи захваљујући изведби појачавача, таквој да он има три клизача чији положај и међусобни однос положаја дефинише вредност појачања. То се може видети на слици 38. где је дат изглед појачавача.



Слика 38. Изглед појачавача 1 и 2

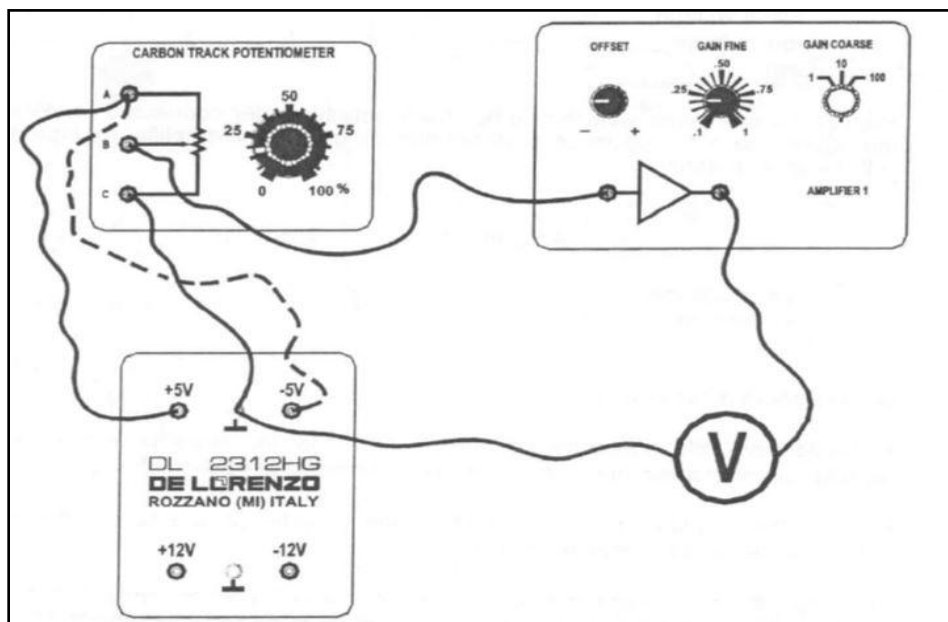
Први од три клизача је "Offset" клизач. Њиме се регулише почетни офсет сигнала, односно служи да се подеси да при почетној вредности улазног напона који је једнак нули излаз буде такође једнак нули и тиме се искључи евентуална грешка која би се јавила због ове карактеристике кола. "Offset" клизач има три области у којима је могуће извршити подешавање почетног офсета и то неутрални део, где је офсет једнак нули, затим негативно подручје офсета (ротација у правцу супротном од смера кретања казаљке на сату), где се смањује офсет и на крају позитивно подручје (ротација у смеру казаљке на сату) у коме се повећава вредност почетног офсета. Следећи клизач је "GAIN COARSE" клизач. Може се рећи да је овај клизач више прекидач са три могућа стања: 1, 10, 100. Овим прекидачем се дакле грубо подешава појачање и вредности појачања могу бити 1, 10, 100. Да би се добила ситинија подела подешавања појачања, повећао број могућих појачања уводи се и трећи клизач под називом "GAIN FINE" (GF). Овим клизачем који има континуалан прелаз, за разлику од "GAIN COARSE" (GC), подешава се жељено појачање. Вредности на које може да се постави овај клизач су од 0.1 до 1. Овај принцип добијања појачања функционише тако што се жељено појачање добија као умножак клизача "GAIN FINE" и "GAIN COARSE". На пример, ако је потребено да се добије појачање 5, "GAIN COARSE" се постави на 10, а "GAIN FINE" се постави на 0.5. Добијено појачање износи тада 5 и може се записати као:

$$G(t)=GC*GF=10*0.5=5 \quad (1)$$

Сва остала појачања добијају се по истом принципу.

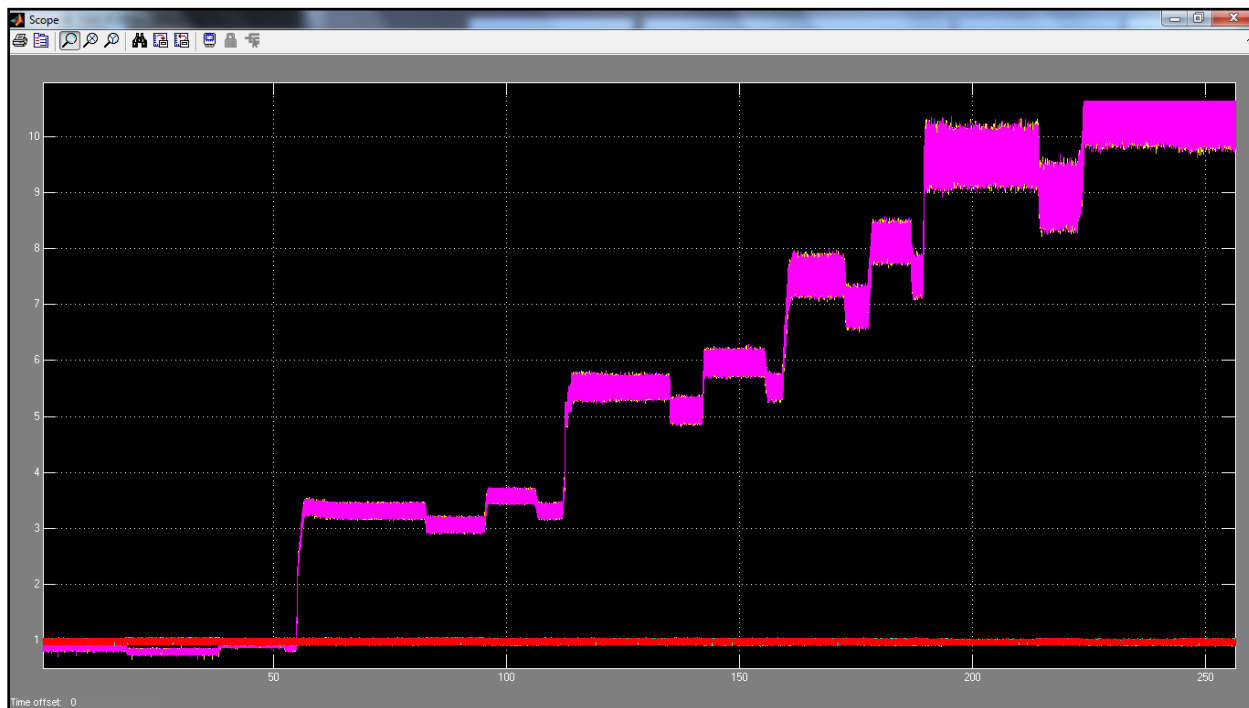
Пример како је могуће мерити појачање дат је на слици 39. на којој је приказана шема повезивања појачавача са извором сигнала и мерним инструментима. Да би овај најједноставнији начин повезивања био успешан, потребено је са извора једносмерног напона од 5V (могу се доводити и било који други сигнали чија вредност не превазилази максималну улазну вредност напона у појачавач), одвести напон на крајеве А и С потенциометра (у овом случају на слици 39. у питању је "CARBON TRACK

POTENCIOMETER"), и затим са контакта В потенциометра одвести сигнал на улазни контакт појачавача. Затим се може вршити подешавање жељеног појачања и након тога се може се почети са мерењем сигнала. За мерење сигнала потребно је излазни сигнал са појачавача одвести на један од AI+ улаза NI6008 картице и на GND терминал за одоговарајући AI+ улаз довести уземљење референтно за сигнал, у овом случају је то са контакта уземљења уређаја DL2312HG.



Слика 39. Шема повезивања појачавача 1 и 2 са извором сигнала и мерним инструментима

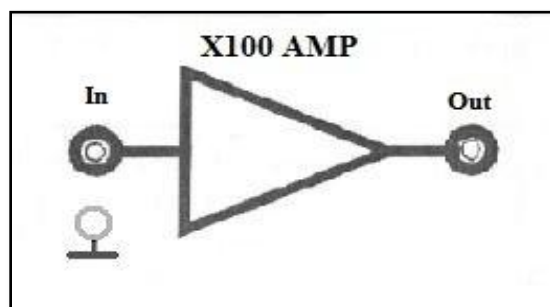
На слици 40. је представљен утицај офсета на излазни сигнал. Као репрезентативни пример је узет утицај офсета и његовог подешавања када је улазни напонски сигнал константан и износи 1V. Вредност GC-а је подешена на 10 да сигнал не би ушао у засићење, док се промена вредности појачања врши помоћу GF-а и то у следећим вредностима: 0.1; 0.25; 0.5; 0.75; 1. Овим су добијена појачања сходно изразу (1) која износе: 1; 2.5; 5; 7.5; 10. За положаје офсета узети су крајњи негативни и позитивни положаји и неутралан положај. Са слике 0.12 се јасно види, да када је појачање 1 ($0s < t < 50s$) утицај офсета на излазни сигнал је знатно мањи од утицаја када су појачања већа. Исто тако, може се приметити да пропорционално са повећањем појачања расте и утицај офсета као и шум излазног сигнала. Пример тога је да у крајњем положају GF-а, када појачање износи 10 а офсет је на крајњој негативној вредности, излазни сигнал износи приближно 9V (у односу на 10V, пошто је улазни сигнал и даље 1V) а у крајњем позитвном делу офсета излазни сигнал износи око 11V. Оим се закључује да се у тој позицији излазни сигнал може смањити и повећати за 1V. О овоме се мора водити рачуна при мерењу излазног сигнала и формирању разних кола помоћу ових појачавача.



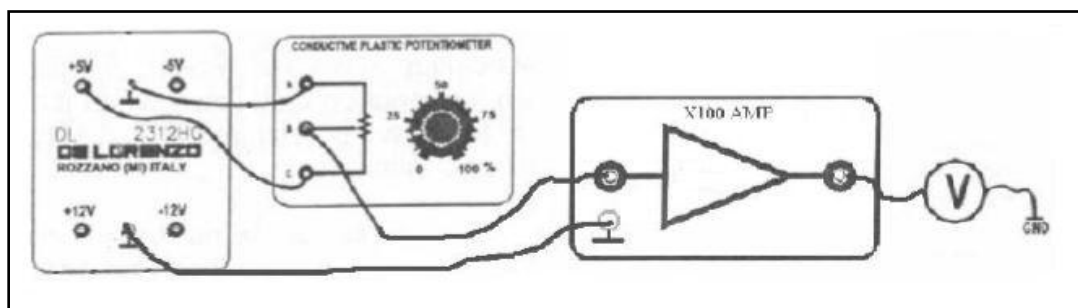
Слика 40. Утицај офсета на карактеристике излазног сигнала, улазни сигнал је црвене боје, излазни сигнал је љубичасте боје
($0 < t < 50 - G(t)=1$; $50 < t < 115 - G(t)=2.5$; $115 < t < 160 - G(t)=5$; $160 < t < 180 - G(t)=7.5$; $180 < t < 250 - G(t)=10$)

Оно што је још карактеристично за појачавач, јесте да са повећањем GC-а расте утицај офсета и расте вредност за коју он може да утиче на излазни сигнал и на то треба обратити пажњу. Све што је наведено у овом делу за појачаваче важи за оба појачавача, имају исте карактеристике, исто се повезују.

4.1.4.2. Појачавач x100 је трећи појачавач једносмерног сигнала који може наћи у оквиру DL2312HG лабораторијског система. Он има фиксно појачање од 100 пута. Како је представљен, обележен, види се на слици 41. Елемент се састоји од два контакта: улазног аналогног контакта (In) где се доводи сигнал који треба да се појача и излазног контакта (Out) где се доводи сигнал који је појачан 100 пута. Најједноставнији начин пуштања у рад овог елемента дат је на слици 0.14. где се види да је ово коло повезано тако што се са извора напона од 5V позитиван крај води на контакт C потенциометра, контакт A потенциометра је повезан са земљом док се са контакта B добија излазни напонски сигнал који може да се мења. Тај сигнал са контакта B одводи се на улазни контакт појачавача и тада се на излазном контакту добија сигнал појачан 100 пута.

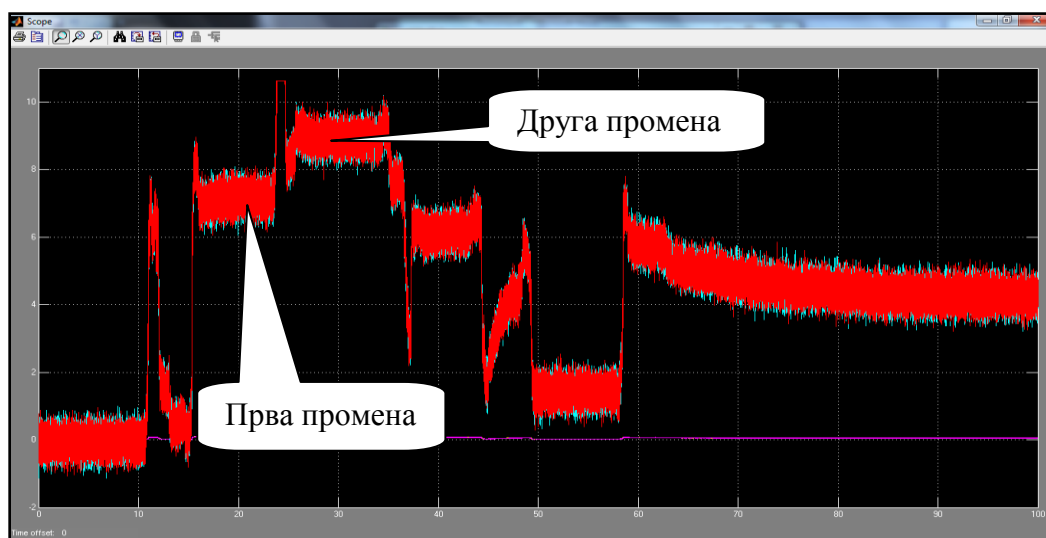


Слика 41. Изглед појачавача са појачањем 100 пута



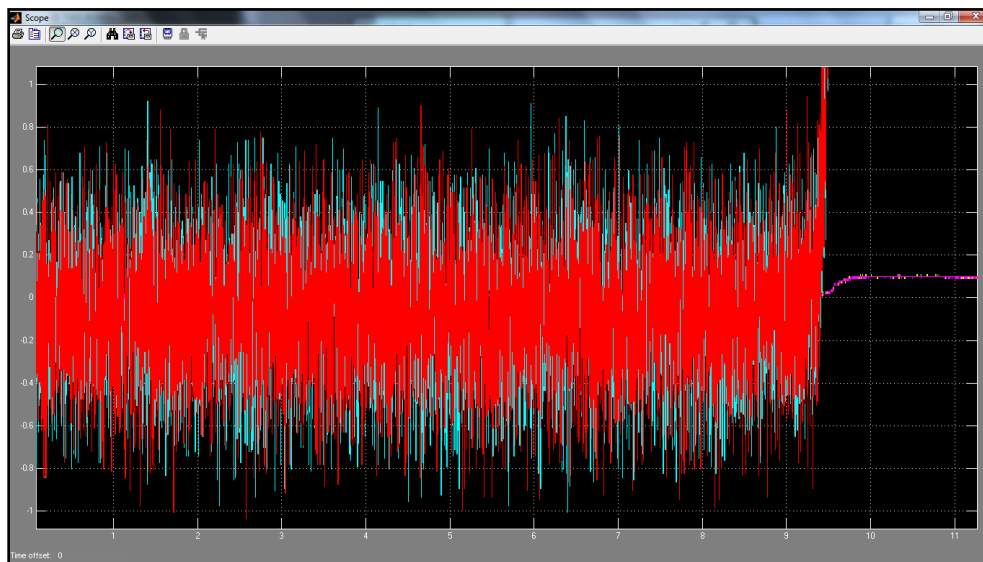
Слика 42. Шема повезивања појачавача са потенциометром и мерним инструментом

За мерење сигнала са овог појачавача неопходно је повезати излазни контакт појачавача са AI+ аналогним улазом NI6008 картице (слика 42. (V)), као и повезати одговарајући GND терминал AI+ улаза са уземљењем уређаја DL2312HG. Пример добијеног сигнала уз помоћ NI6008 картице и програмског пакета "Matlab" приказани су на слици 43.



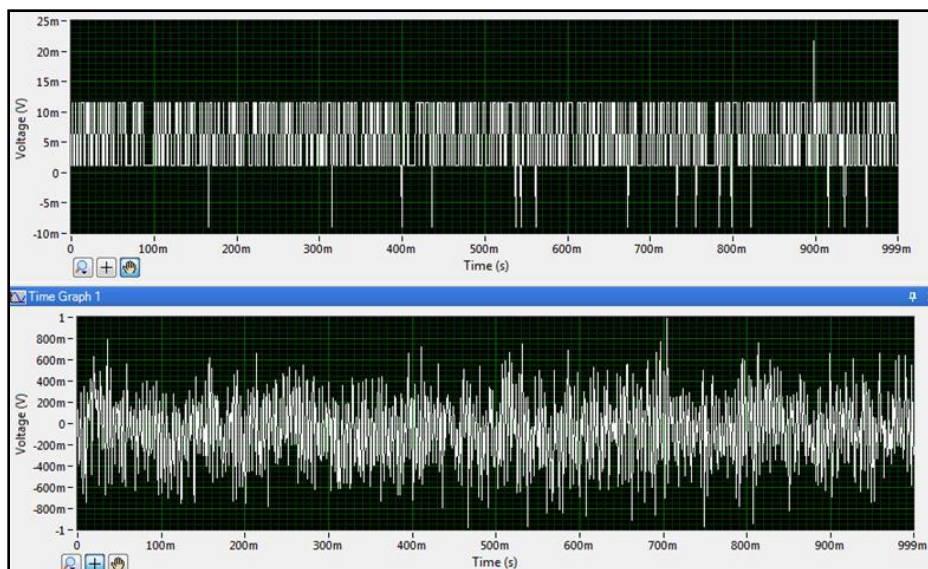
Слика 43. Приказ примера промене излазног сигнала са појачавача појачања 100 пута

Због чињенице да је појачање велико није могуће пратити адекватно улазни сигнал који је на слици 43 представљен љубичастом бојом, а излазни сигнал црвеном, посебно су дати увећани прикази улазног сигнала на сликама: 44. 45. 46.



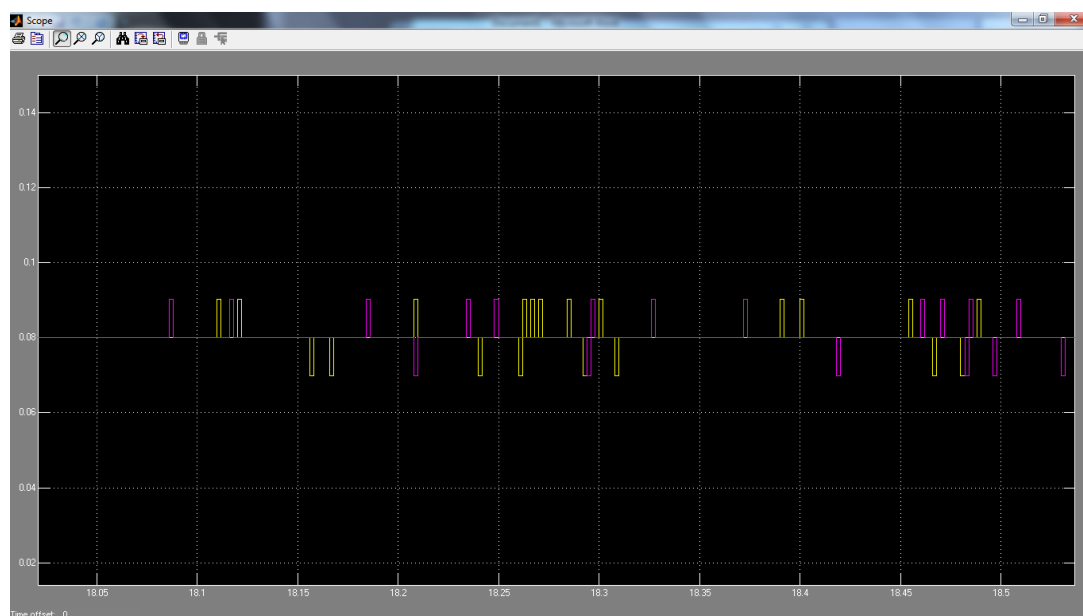
Слика 44 Упоредни приказ улазног и излазног сигнала када је улазни сигнал једнак 0.

Са слике 44 јасно се уочава, да када је вредност улазног сигнала једнака нули, вредност излазног сигнала се такође креће око нуле али са великим шумовима који се јављају због великог појачања елемента. Исто то се може видети и при коришћењу "LabView"-а, слика 45. Горњи сигнал представља улазни сигнал а доњи сигнал излазни сигнал.



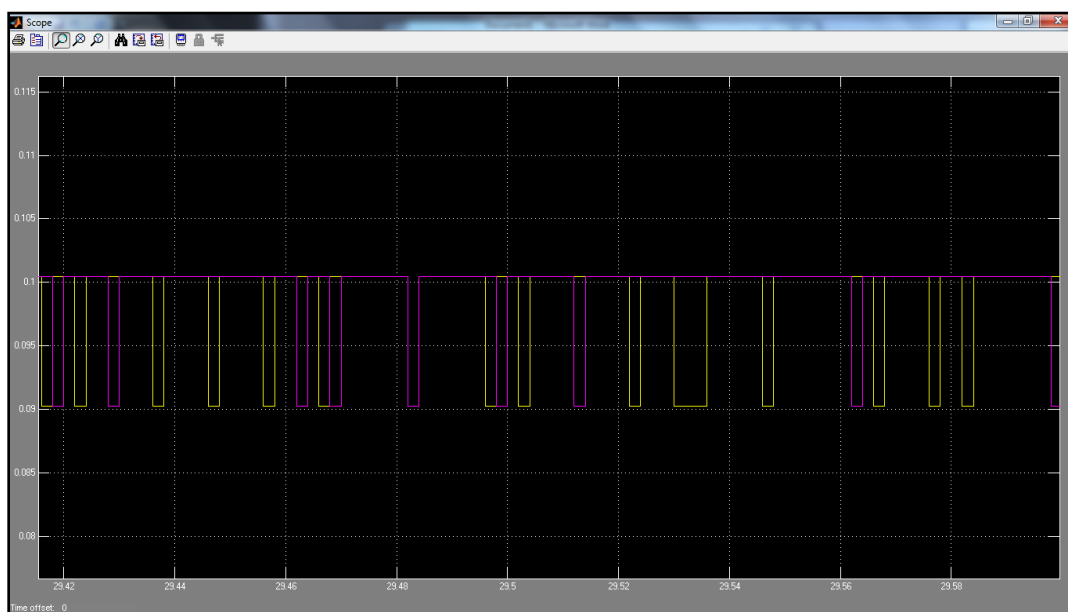
Слика 45 Упоредни приказ улазног и излазног сигнала када је улазни сигнал једнак 0

На следећој слици 46 је представљена прва промена, и тада улазни сигнал има вредност од $0.08V$. У том тренутку вредност излазног сигнала је $7V$.



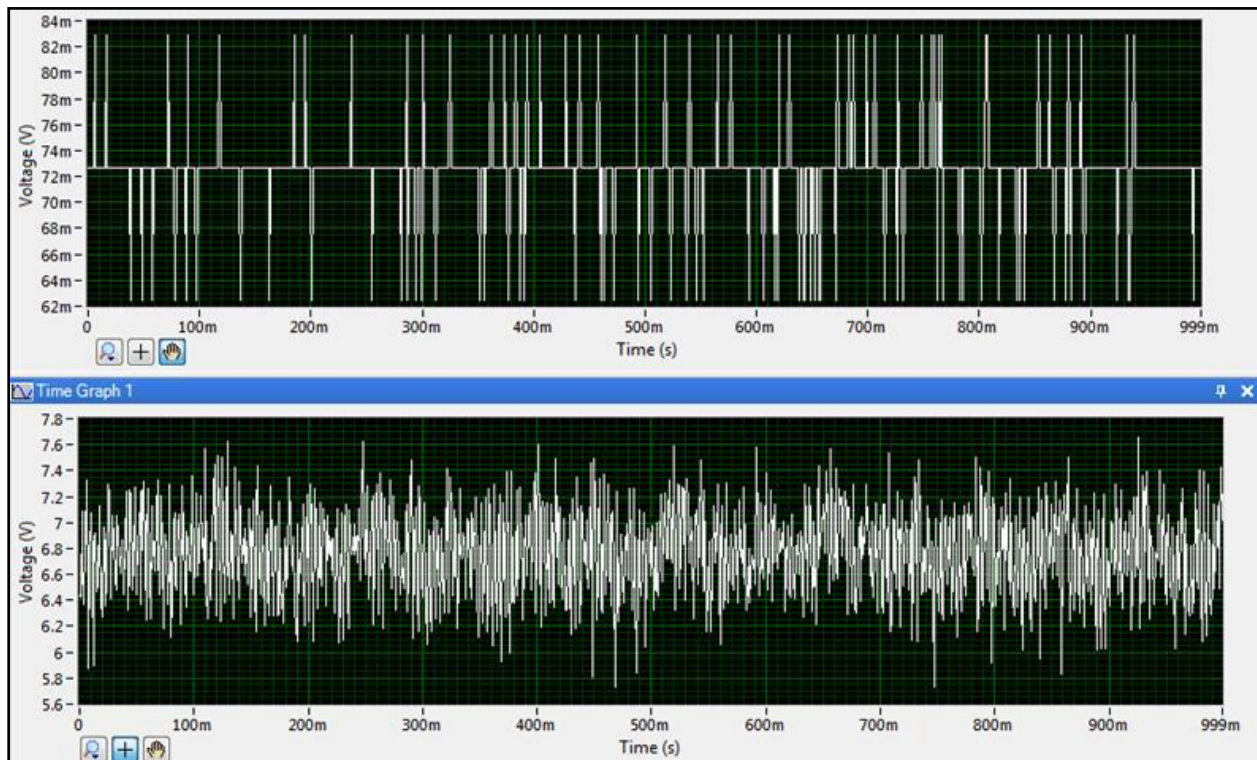
Слика 46 Увећан приказ улазног сигнала на првој промени

Из приложеног се види да појачање није идеално и да постоји одређена грешка појачања о којој се мора водити рачуна. Овај проблем се може уочити и ако се упореде односи улазног и излазног напона при другој промени. Вредност улазног напона је приказана на слици 46. која представља зумиран приказ улазног сигнала са слике 43.



Слика 47. Увећан приказ улазног сигнала при другој промени

Овде се јасно уочава да је вредност улазног напона око 0.1V са повременим пиковим на 0.9V. И због јављања тих малих пикова, односно промена у улазном сигналу као и због великог појачања јавља се шум на излазном сигналу. Опет се примећује да појачање није идеално 100, већ да улазни сигнал од 0.9-0.1V добијамо на излазу из појачавача 9V са шумом од $\pm 0.4V$. Да дозвољена грешка која је дата од произвођача превазилази границе које је произвођач прописао види се и на слици 48.



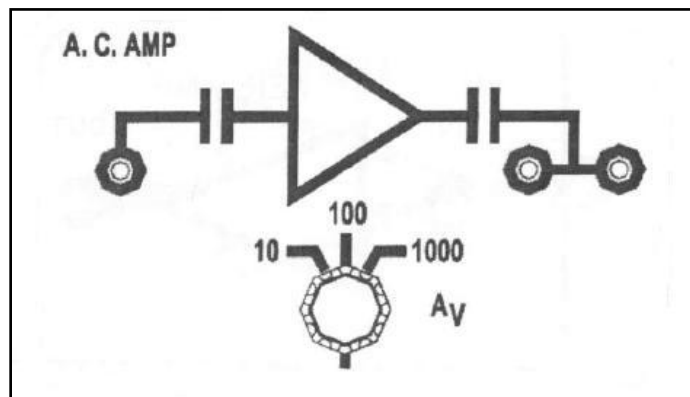
Слика 48. Упоредни приказ улазног и излазног сигнала

Као и раније, горњи сигнал представља улазни а доњи сигнал излазни сигнал. Ако се вредност горњег сигнала (73mV) помножи са појачањем 100, треба да се добије излазни сигнал од 7.3 V. Супротно томе добија се сигнал који износи око 6.8V. Када се грешка појачања представи у процентима за овај случај добија се да износи око 15% што је доста више од 4% датих од стране произвођача.

4.1.4.3. Појачавач наизменичног сигнала "AC Amplifier" (ACA)

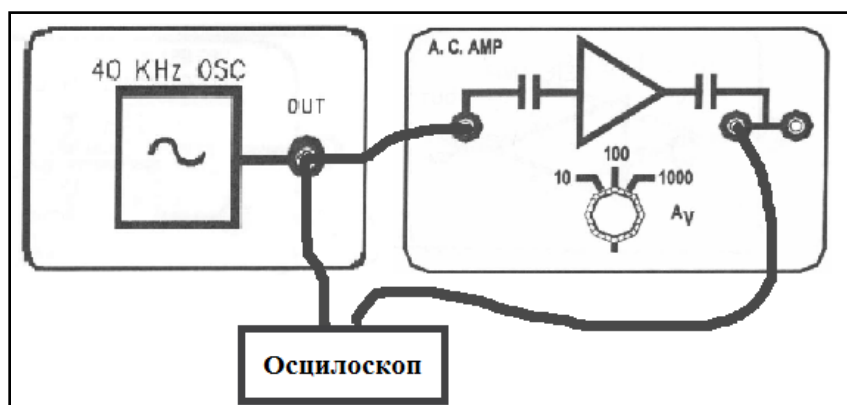
"AC Amplifier" је појачавач наизменичног напона, који може да има једну од три вредности: 1, 10, 100. Изглед "AC Amplifier"-а је дат на слици 49. На слици 49. која представља овај појачавач види се да постоје два кондензатора. Први кондензатор се налази испред самог елемента, односно сигнал прво наилази на њега пре него што уђе у

АСА, а друг кондензатор се налази иза елемента, односно излазни сигнал пролази кроз њега. Њихова намена је да одстрани сваки DC сигнал и због тога нема проблема са офсетом излазног сигнала који би се јавио да се кондензатори не налазе ту.



Слика 49. Симбол АСА појачавача

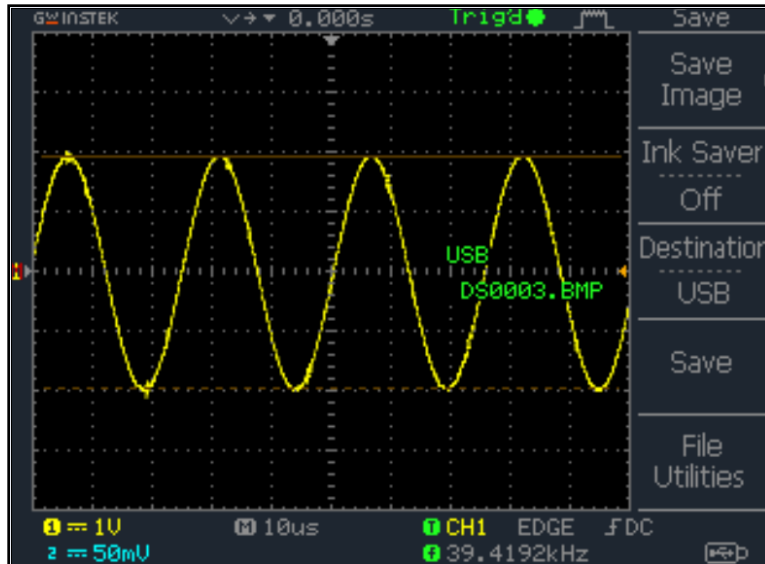
Излазни сигнал је могуће посматрати уз помоћ NI6008 картице, али се препоручује посматрање сигнала преко осцилоскопа. Разлог лежи у томе да NI6008 картица има ограничену фреквенцију одабирања од 10kS/s, а често је фреквенција посматраних сигнала већа од фреквенције одабирања картице. Још ако се узме у обзир чињеница да је препоручено да фреквенција одабирања (f_o) буде пет пута већа од највеће фреквенције (f_m) из спектра посматраног сигнала долази се до великог ограничења када је у питању NI6008 картица код посматрања сигнала са овог елемента. Због тога, као пример посматрања сигнала, дата је шема на којој се користи осцилоскоп. То је приказано на слици 50.



Слика 50. Пример повезивања ради снимања сигнала са АСА појачавача

На слици 50. је описано како треба да изгледа повезивање АСА појачавача са осцилоскопом. Оно што се може видети јесте да се сигнал са генератора наизменичног напона "40KHz OSC" одводи на улаз АСА појачавача а са излаза АСА појачавача на осцилоскоп. Исто се може приметити да је излазни сигнал са генератора наизменичног напона одведен на осцилоскоп. Сигнали су одведени на различите канале, канале 1 и 2, и

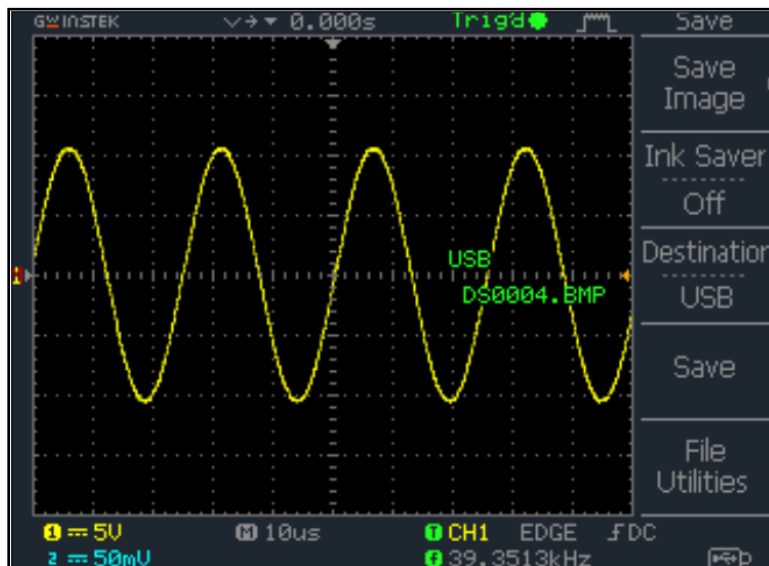
могу се пратити упоредо њихове промене и промене утицаја појачања АСА појачавача на излазни сигнал. Ова шема је постављена овако, да би се назначило да је могуће и посматрање два сигнала паралелно (улазног и излазног), али пошто се у АСА доводи сигнал чија је амплитуда константна и чија је фреквенција осциловања константна нема потребе за одвођењем тог сигнала на осцилоскоп. Резултати овако постављеног кола су дати редом, уз објашњење, на следећим сликама. На слици 51. дат је улазни сигнал на АСА појачавач, односно излазни са генератора наизменичног напона.



Слика 51. Изглед и карактеристике улазног сигнала у АСА појачавач у репрезентативном примеру

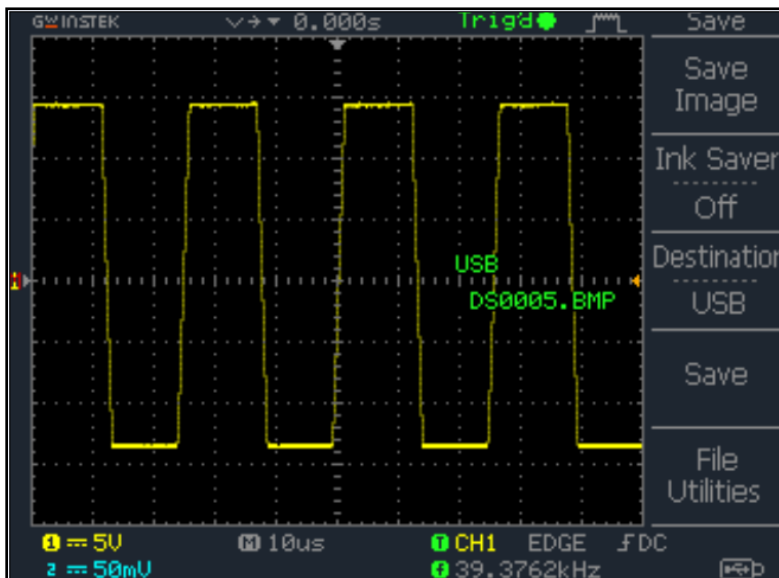
Помоћу осцилоскопа је сигнал посматран, и на њему су очитане карактеристике овог сигнала. Улазни напон је синусног облика, чија фреквенција износи 39.419 kHz. Амплитуда осциловања је $V_{pp}=3.88V$. Са V_{pp} је означена амплитуда јер се на осцилоскопу читава као "point to point" напон, напон између две тачке, у овом случају између минималне и максималне вредности напона.

На слици 52. је сигнал на излазу из АСА појачавача када је на њему подешено појачање 10 пута. Карактеристично је да се задржава приближно иста фреквенција, сада је 39.351 kHz, а мења се вредност амплитуде. Амплитуда на појачању 10 износи $V_{pp}=21.4V$. У поређењу са улазном вредношћу закључује се да појачање и у овом случају није идеално већ за овај случај оно износи око 5.5. Све ово се наводи да би се скренула пажња на несавршености које се јављају, да се оне разјасне и уштеде време при будућем разматрању елемената.



Слика 52. Изглед сигнала појачаног 10 пута

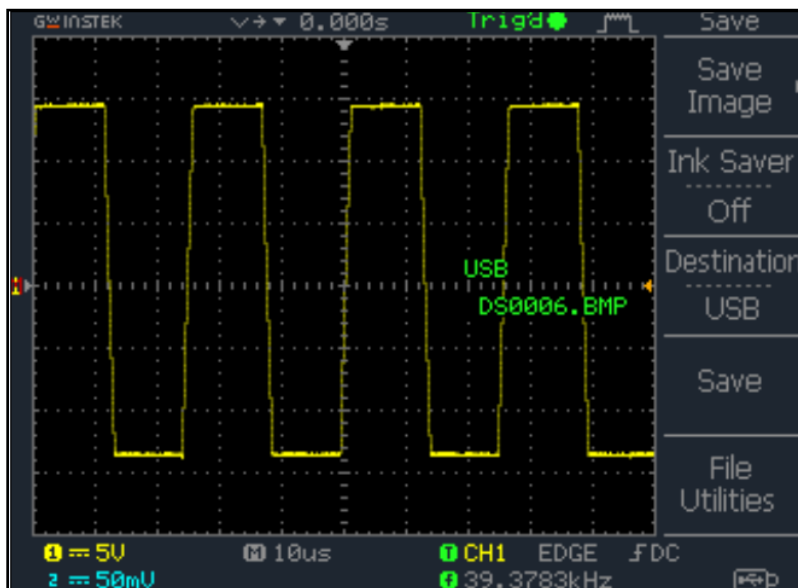
Оно шта даље следи исто представља ограничење на које треба обратити пажњу и водити рачуна о њему. На слици 53. приказан је излазни сигнал из АСА појачавача када је исти улазни сигнал, али се разликује појачање и оно је сада 100.



Слика 53. Изглед сигнала појачаног 100 пута

Оно шта се прво уочи када се посматра слика 53 и сигнал представљен на њој, јесте да сигнал улази у засићење, у том тренутку сигнал достиже вредност амплитуде $V_{pp}=28V$. То значи да од тачке до тачке засићења размак представља 28V, када се то подели са два добије се вредност од 14V у једном смеру (позитивном или негативном) и то представља приближно исту вредност као вредност засићења готово свих елемената лабораторијског система DL2312HG, међу њима и овог. Као и у првом случају,

фреквенција се тек незнатно променила и сада износи 39.376kHz. Иста појава се уочава и када се подеси да је појачање 1000, слика 54.



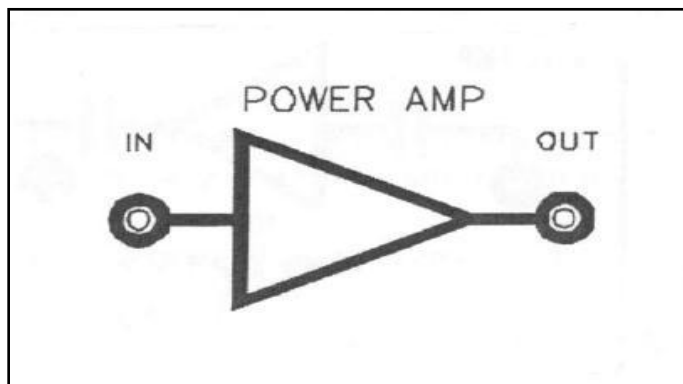
Слика 54. Изглед сигнала појачаног 1000 пута

Опет се види да се фреквенције улазног и излазног сигнала незнатно разликују и да опет долази до засићења сигнала у истој вредности.

Из свега овога, долази се до закључка да због својих карактеристика, АСА појачавач треба користити за појачање наизменичних сигнала малих амплитуда, и да је пожељно и препоручено његове излазне сигнале посматрати помоћу осцилоскопа.

4.1.5. Појачавач снаге, "Power Amplifier"

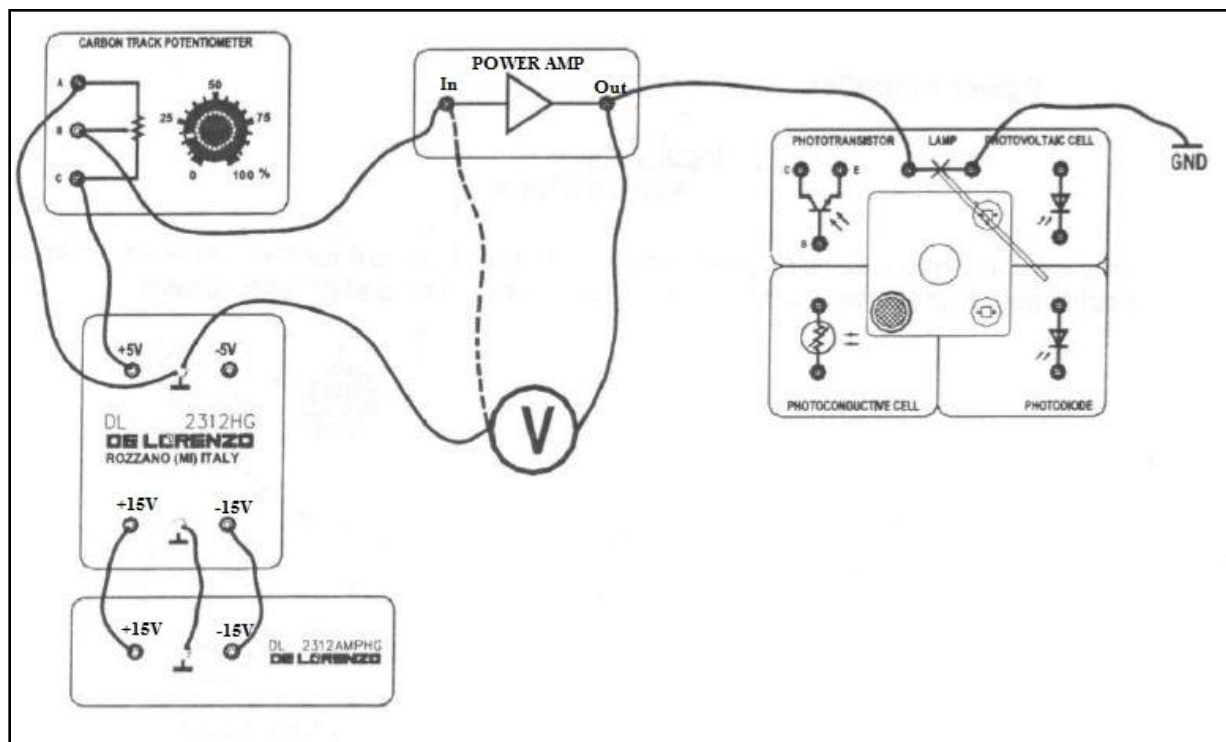
Симбол појачавача снаге је дат на слици 55.



Слика 55. Појачавач снаге

Основна улога овог кола је појачање снаге сигнала на улазу, и да тако појачан сигнал може да се користи као излазни сигнал овог елемента. Његово повезивање са осталим елементима је једноставно. Сигнал који треба да се појача се доведе на улазни контакт појачавача а на излазном контакту добијемо сигнал појачане снаге који се даље одводи према потреби.

Кроз практичан рад са овим елементом на уређају DL2312HG, установљено је да он не ради како би требало да ради. Стога су вежбе у којима се појачавач снаге помиње или урађене без њега или нису урађене. Ипак, у оквиру овог рада биће изложен елементаран начин примене овог елемента. Дата је шема на слици 56.

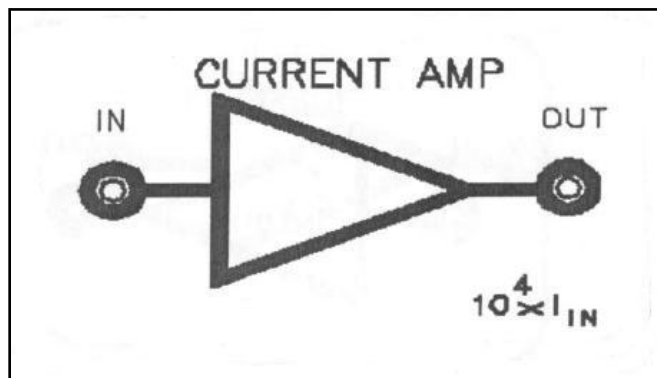


Слика 56. Шема повезивања појачавача снаге са остатком кола

На слици 56 се види да се са извора једносмерног напона од 5V позитиван крај шаље на крај С потенциометра, а да је крај А потенциометра повезан са уземљењем (може бити повезано и супротно). Са контакта В потенциометра излазни сигнал се води на улаз појачавача, а са излаза појачавача сигнал се води на потрошач, у овом случају лампу. Улога појачавача снаге у овом случају је да повећа снагу довољно да лампа засветли. Са исправним појачавачем снаге могућа је реализација разних врста кола.

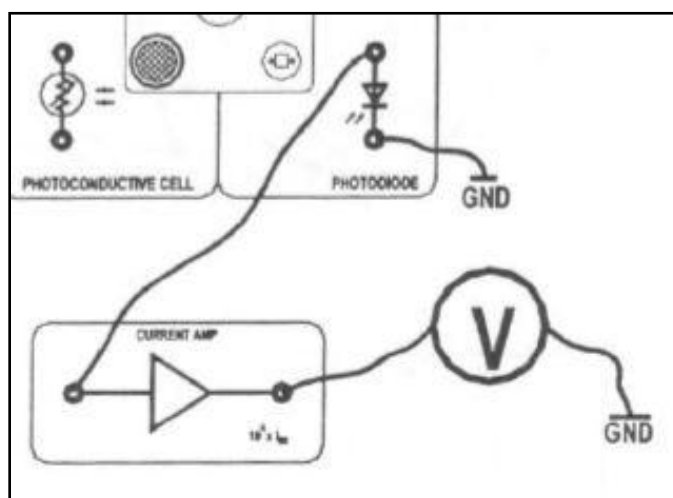
4.1.6. Појачавач струје, " Current Amplifier"

Симбол појачавача струје је дат на слици 57.



Слика 57. Симбол појачавача струје.

Суштински, овај појачавач трансформише струју на улазу, у напон на излазу према одређеном преносном односу. Првенствено је намењен за формирање сложених кола заједно са фотодиодом, првенствено због чињенице да је излазна струја фотодиоде мала, реда величина мили ампера. Максимални излазни напон овог елемента је 10V, и тиме се долази и до ограничења улазне струје на 1mA. Преносни однос појачавача је 10000V/A. Због чињенице да овај елемент иде уз остале елементе на трансдјусеру DL2312HG због трансформације излазног сигнала са фотодиоде у напонски сигнал, тако ће бити и показана његова примена, без улажења у даљи изгледа кола неопходног да би фотодиода правилно радила. Када буде описиван рад фотодиоде биће дата цела шема. Шема повезивања фотодиоде са појачавачем струје је дата на слици 58.

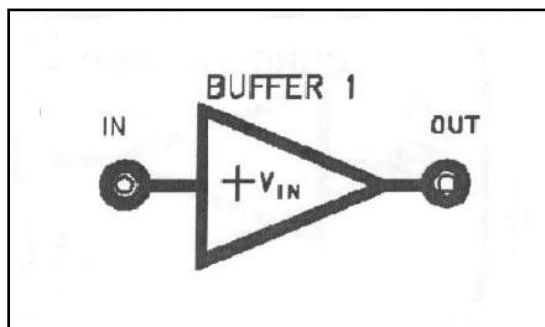


Слика 58. Шема повезивања фотодиоде са са појачавачом струје

Као што се може приметити на слици 58. повезивање је крајње једноставно. Излазни контакт фотодиоде је потребно спојити са улазним контактом појачавача. Потребно је мерити само излазни сигнал. Излазни сигнал се мери уз помоћ NI6008 картице и неког од програмских пакета тако што се излазни сигнал са појачавача струје пошаље на неки од AI+ улаза картице, и још се одговарајући терминал GND, у зависности од избора AI+ улаза, повеже са уземљењем уређаја DL2312HG. Када је све повезано као што је наведено може се отпочети са мерењем излазног сигнала са појачавача струје. По истом принципу појачавач струје се може повезати са било којим другим елементом и поступак мерења сигнала је исти, једино шта је неопходно јесте да се води рачуна о максималној дозвољеној вредности улазне струје јер је вредност излазног напона такође ограничена.

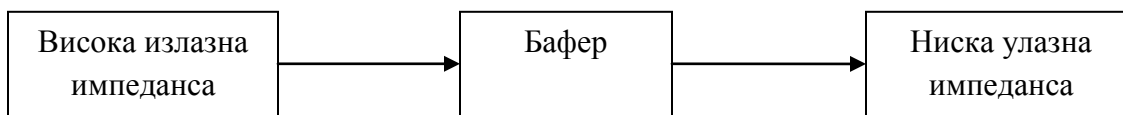
4.1.7. Бафер, "Buffer Amplifier"

Симбол бафера дат је на слици 59.



Слика 59. Симбол бафера

Бафер спада у групу неинвертујућих појачавача, његово појачање је јединично. Тиме се постиже да су улазни и излазни напони једнаки. Они служе да повежу два краја у једном колу тако што ће да пренесу вредност напона из једне у другу тачку. Бафери имају високу улазну импедансу, а малу излазну импедансу. Преносом напона између две тачке и вредностима импеданси на улазу и излазу намећу своју примену која се огледа у томе да представљају посреднике између уређаја који имају велику излазну импедансу и уређаја који имају малу улазну импедансу. Ово је шематски приказано на слици 60.

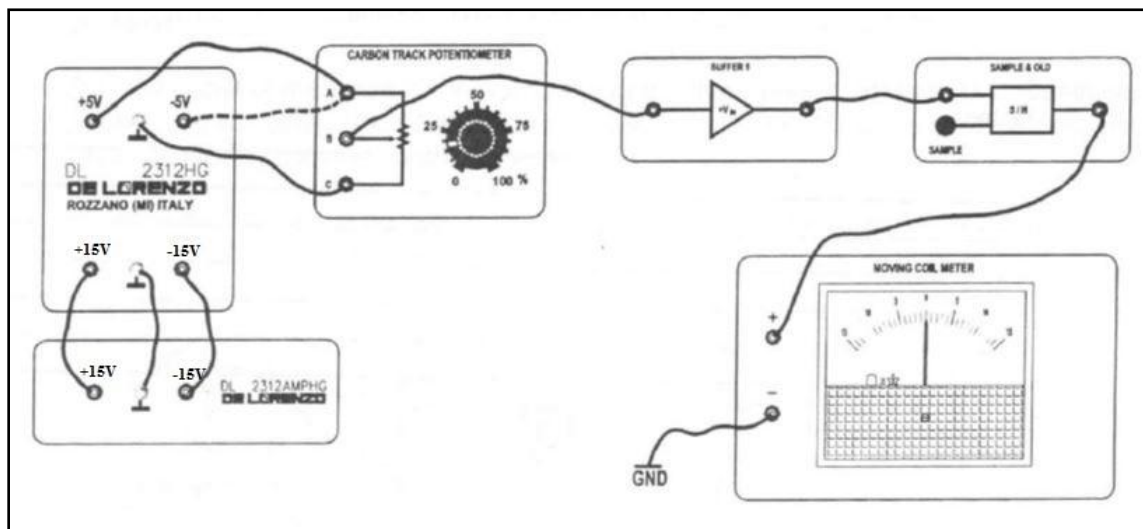


Слика 60. Приказ места коришћења бафера

Карактеристике бафера, постоје два на уређају DL2312HG, дате од стране произвођача су следеће:

- Улазни напон - 12V max;
- Улазна импеданса - 100k Ω ;
- Офсет улазног напона - 300mV;
- Вредност напонског појачања - 1;

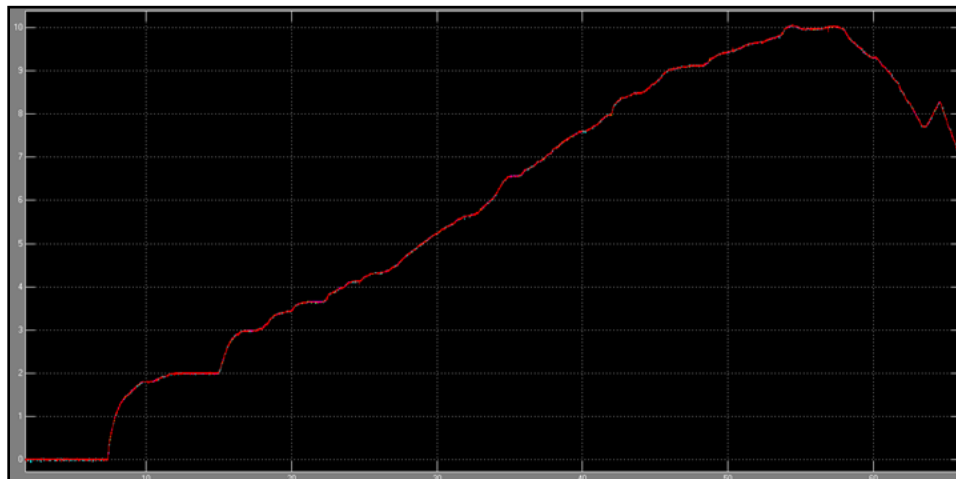
Бафер, као елемент на уређају DL2312HG, има два контакта што се може видети на слици 59. где је представљен. Бафер се са осталим елементима повезује једноставно тако што се излазни сигнал елемента са високом излазном импедансом одведе на улазни контакт бафера, а излазни сигнал са бафера на елемент кола са малом улазном импедансом. Пример реализације таквог кола дат је на слици 61. где је бафер повезан са потенциометром и елементом "Sample and Hold" (S&H) о коме ће више речи бити касније.



Слика 61. Пример примене бафера као посредника

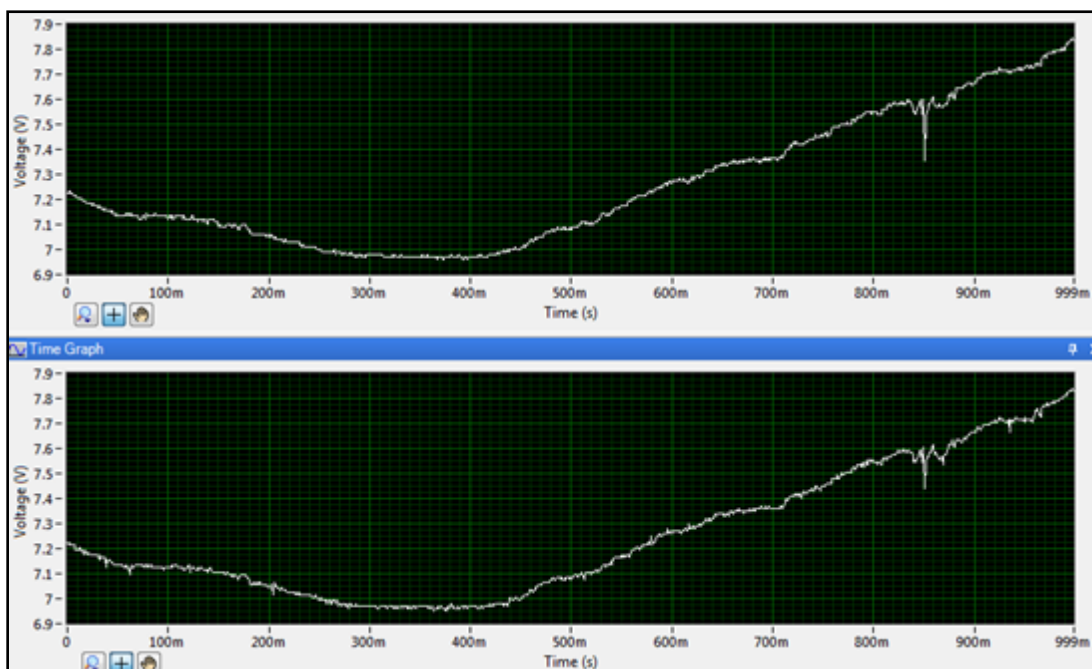
На слици 61. се види како је организована структура елемената и њихов међусобни однос. Са извора једносмерног напона шаље се напон на потенциометар и то тако што се повезују контакт са +5V и контакт А потенциометра. Контакт С потенциометра се повезује са уземљењем уређаја DL2312HG. Са испрекиданом линијом је назначено да је могуће контакт А повезати и са -5V на извору једносмерног напона. Даље, са контакта В, излазног контакта потенциометра, шаље се напонски сигнал на улаз у бафер. Са излазног контакта бафера сигнал се одводи у S&H елемент. Опис мерења сигнала, суштину рада S&H елемента, приказ резултата и објашњење истих биће дати у оквиру описа S&H елемента. Циљ ове демонстрације је директна примена бафера као независног елемента.

Ако би се посматрао бафер изоловано из кола, тј. само да се доводи сигнал на њега и да се мери излазни сигнал добила би се карактеристика као на слици 62.

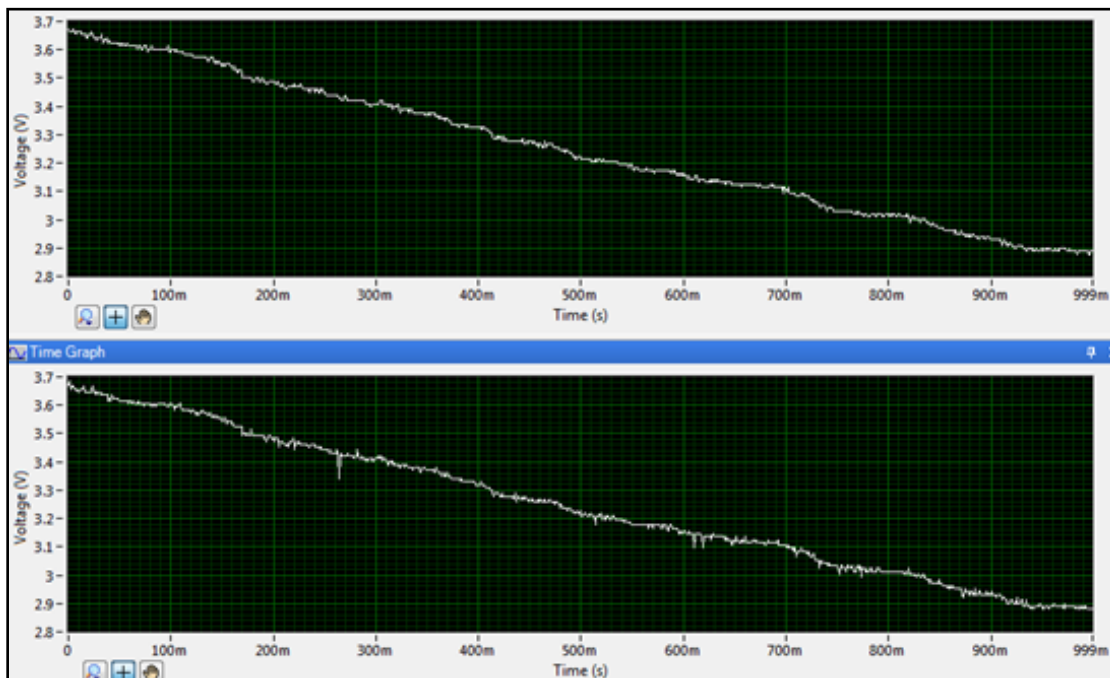


Слика 62. Приказ улазног и излазног сигнала на баферу

Иако се на слици 62. види само један сигнал, постоје два сигнала, али пошто су напони на улазу у бафер и на излазу из бафера једнаки они се у овом случају преклапају па се други сигнал не види. Овај проблем је решен на слици 63. где горњи сигнал репрезентује сигнал на улазу а доњи сигнал на излазу из бафера. Може се приметити да су потпуно идентични и да излазни сигнал верно прати улазни сигнал током времена. Да то није случајност може се видети и на слици 64. где је мерење поновљено.



Слика 63. Паралелни приказ улазног и излазног сигнала бафера помоћу "LabView"-а

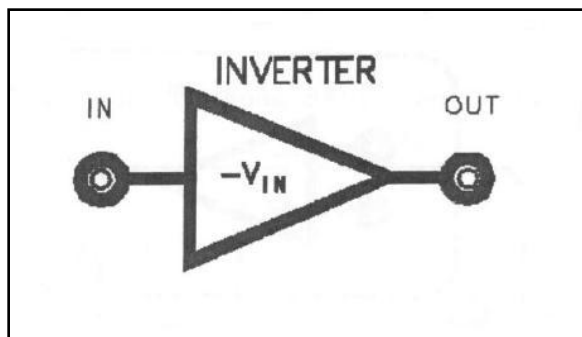


Слика 64. Приказ односа улазног и излазног сигнала при поновљеном мерењу

Напомена при повезивању бафера са NI6008 картицом: улазни и излазни сигнал бафера потребно је повезати на по један AI+ терминал, и одговарајуће GND терминале за одабране AI+, потребно је спојити са уземљењем уређаја DL2312HG.

4.1.8. Инвертер, "Inverter"

Основна функција сваког инвертера је да инвертује поларитет напона који се доводи на улаз у његово коло, и тако инвертован напон да на свом излазу. Инвертор дат у оквиру DL2312HG уређаја има јединично, негативно појачање. Симбол инвертера је дат на слици 65.

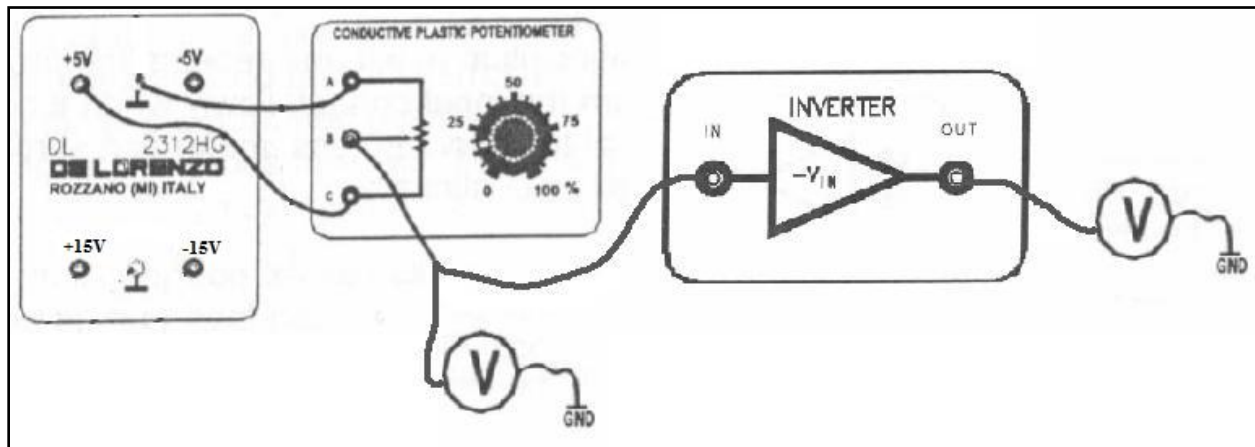


Слика 65. Симбол инвертера

Карактеристике инвертора који постоји у систему DL2312HG су следеће:

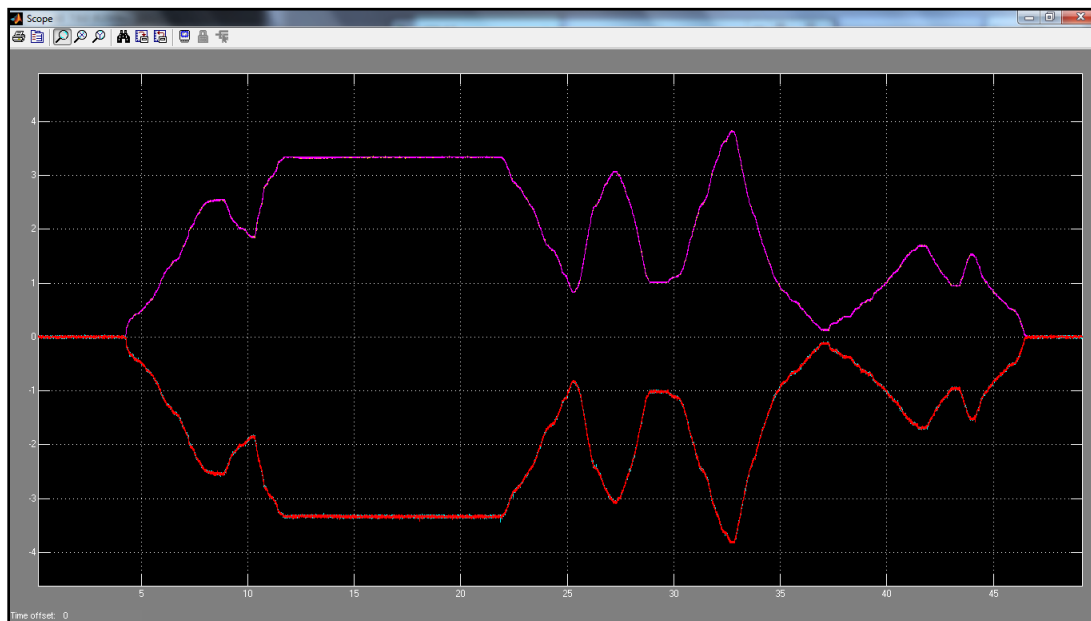
- Улазни напон - 12V max;
- Напонско појачање - -1V;
- Улазна импеданса - 100k Ω ;
- Офсет улазног напона - 300mV;

Употреба овог елемента је крајње једноставна као и снимање и праћење сигнала са њега. За показивање примера рада инвертора и снимања његових карактеристика коришћена је шема приказана на слици 66.



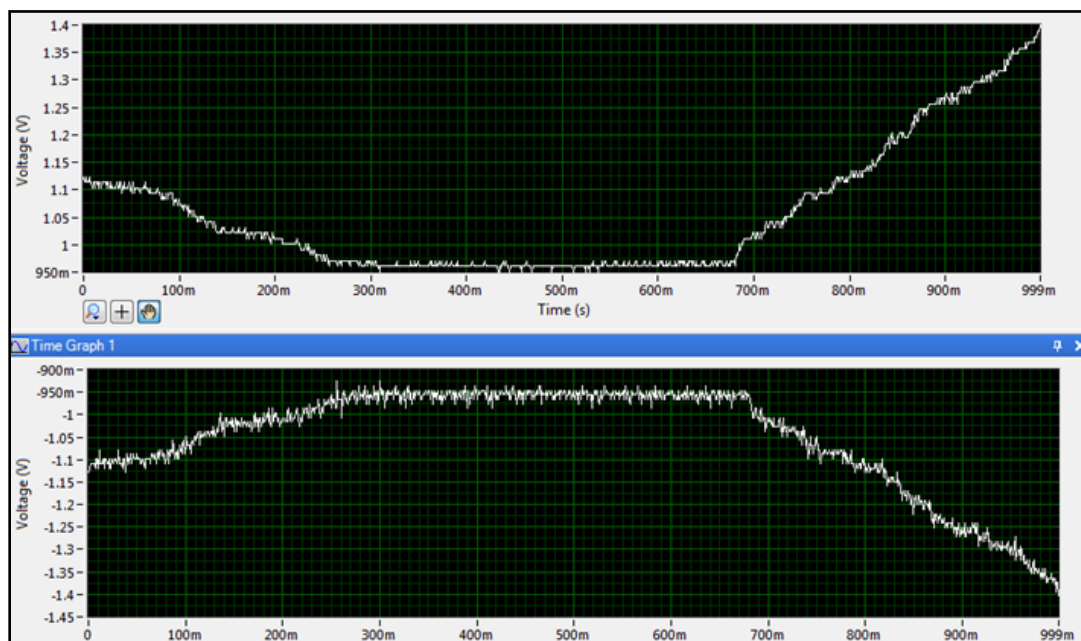
Слика 66. Шема повезивања инвертора са извором сигнала и меним инструментом

Са приказа шеме, види се да се напајање доводи са извора једносмерног напона од 5V на потенциометар и то тако што се на контакт А потенциометра доводи уземљење а на контакт С потенциометра се доводи +5V. Тада се на контакту В добија излазни напон чија вредност може да се подешава положајем клизача потенциометра. Приказано је и да се при мерењу у примеру мере два сигнала, улазни и излазни сигнал. При мерењу је коришћена NI6008 картица. Оба сигнала, улазни и излазни, потребно је повезати са по једним AI+ терминалом, и за оба изабрана AI+ терминала потребно је повезати одговарајуће GND пинове са уземљењем уређаја DL2312HG. Добијени резултати су представљени на слици 67. Са љубичастом бојом је представљен улазни сигнал, а са црвеном бојом излазни сигнал из инвертора. Поларитет улазног сигнала (позитиван) одговара поларитету напајања, док поларитет излазног сигнала представља инвертован поларитет (негативан). Закључује се и да је интензитет напона исти и да се две вредности улазног и излазног сигнала идеално прате, једина разлика је у поларитету.



Слика 67. Приказ улазног и излазног сигнала инвертера

До истог закључка се долази и када се мерење врши у "LabView"-у. Приказ мерених сигнала у "LabView"-у је дат на слици 68.

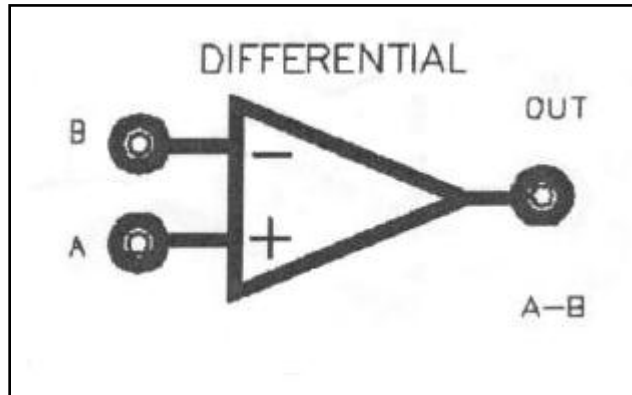


Слика 68. Приказ улазног и излазног сигнала у "LabView"-у

На слици 68. горњи сигнал представља улазни сигнал у инвертор а доњи сигнал представља излазни сигнал са инвертора.

4.1.9. Диференцијални појачавач, "Differential Amplifier"

Симбол диференцијалног појачавача је дат на слици 69.



Слика 69. Симбол диференцијалног појачавача

Диференцијални појачавач поседује два улазна контакта, контакте А и В, и један излазни контакт. Сигнал на излазу је условљен вредностима напона сигнала на улазу и излазни напон једнак је разлици улазних напона на контактима А и В ($V_A - V_B$).

Систем DI2312HG поседује два диференцијална појачавача:

1. "Differential Amplifier"
2. "Instrumentation Amplifier"

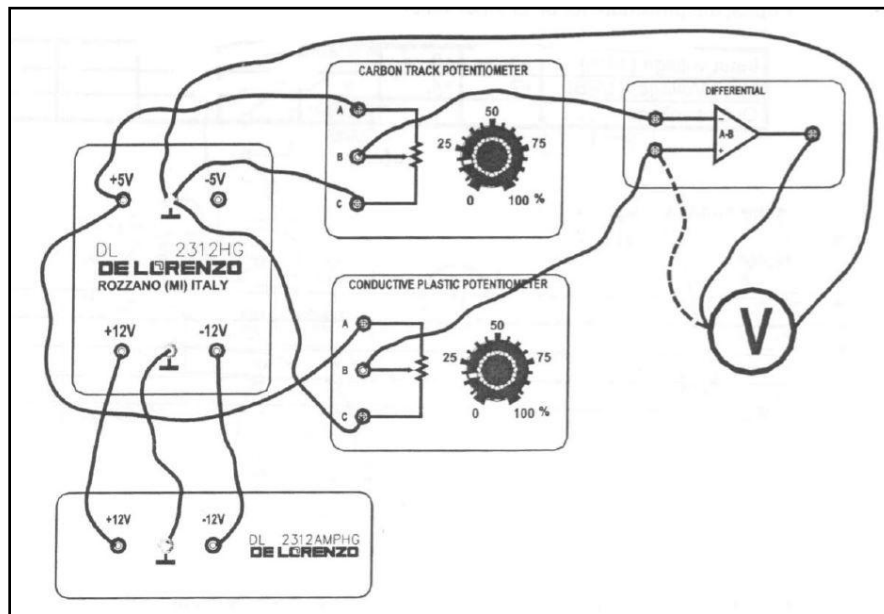
Ова два појачавача су иста са малим разликама у улазној импеданси. Карактеристике дате од стране произвођача ова два појачавача су дате у табели 5.

Differential Amplifier	Улазни напон	12V max
	Диференцијално појачање	1
	Појачање у заједничком каналу	0.02 max
	Улазна импеданса (улаз А)	200k Ω
	Улазна импеданса (улаз Б)	100k Ω
Instrumentation Amplifier	Улазни напон	12V max
	Диференцијално појачање	1
	Појачање у заједничком каналу	0.06 max
	Улазна импеданса (улаз А)	100k Ω
	Улазна импеданса (улаз Б)	100k Ω

Табела 5. Карактеристике диференцијалног појачавача.

Да би диференцијални појачавач испунио своју намену, потребно је довести два сигнала на његов улаз. Зато се сада када је он у питању шема примера којим се описује

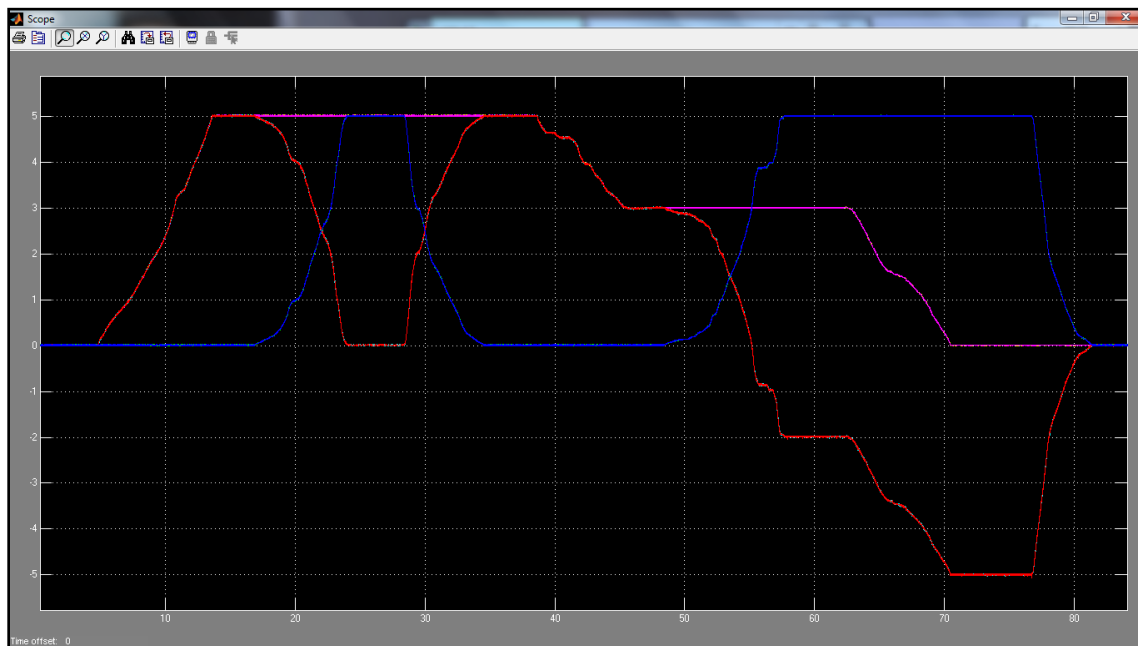
усложњава у односу на до сада виђене шеме, али и поред тог усложњавања шема остаје једноставна. Шема се може видети на слици 70.



Слика 70. Најједноставнији пример рада диференцијалног појачавача

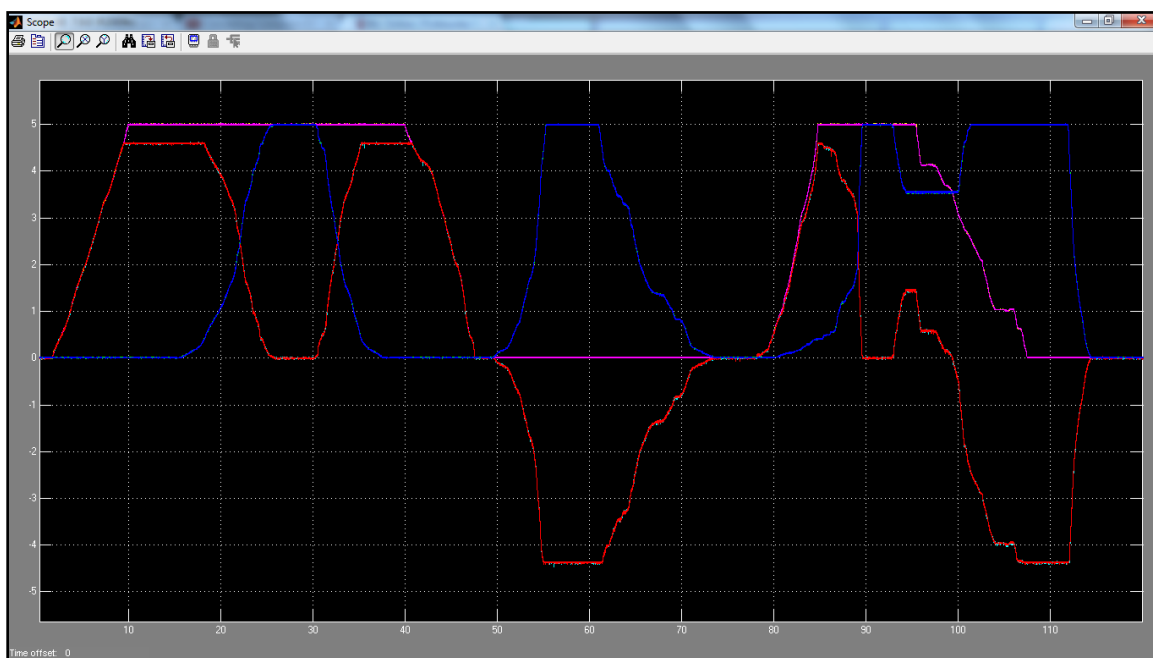
Са слике 70. се уочава да се за генерисање улазних напона на диференцијални појачавач користе два потенциометра. На оба потенциометра доведени су са извора напајања једносмерни напони на крајеве А оба потенциометра, а на крајеве С оба потенциометра је доведено уземљење. Тиме се на контактима В потенциометара добијају напонски сигнали који се шаљу на улазне контакте диференцијалног појачавача. У овом примеру који служи да се покаже принцип мерења сигнала са диференцијалног појачавача мере се три сигнала. Мере се оба улазна сигнала и излазни сигнал. При мерењу је коришћена NI6008 конверторска картица. Да би мерење било успешно изведено потребно је сва три сигнала повезати са три тазличита AI+ терминала на картици, затим је потребно повезати терминале GND одговарајућих AI+ са уземљењем на уређају DL2312HG. Када је све то успешно повезано може се почети са мерењем. На слици 71. се приказује ток промене вредности улазних сигнала током времена и њихов утицај на излазни сигнал. Са љубичастом бојом је представљен улазни сигнал са контакта А, са плавом бојом је представљен улазни сигнала са контакта В и црвеном бојом је представљен сигнал са излазног контакта диференцијалног појачавача. Потребно је напоменути да овај елемент ради идеално, баш као што је од стране произвођача наведено. То се види ако се упореде вредности улазних сигнала са вредностима излазног сигнала. У сваком временском тренутку у посматраном интервалу задовољен је однос да је излазни напон једнак разлици улазних напона:

$$V_{out}=V_A-V_B \quad (2)$$



Слика 71. Приказ улазних и излазног сигнала са диференцијалног појачавача.

Ако се узме иста шема као на слици 70. и само се уместо "Differential Amplifier" стави "Instrumentation Amplifier" и посматра тако коло, добијају се сигнали као на слици 72.



Слика 72. Приказ улазних и излазног сигнала са "Instrumentation Amplifier"-а

Распоред боја сигнала на слици 72. је исти као и у примеру за диференцијални појачавач. Плава и љубичаста означавају улазне сигнале а црвена боја излазни сигнал. Једина уочљива разлика овог појачавача у односу на диференцијални појачавач јесте да

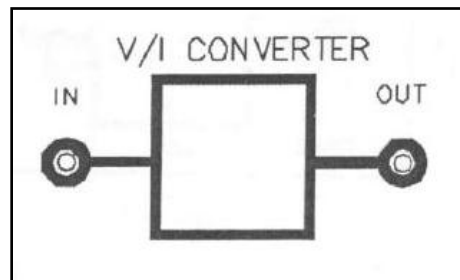
излазни сигнал без обзира на улазне сигнале није у стању да да максималну вредност када је један сигнал на максималној вредности а други на нултој вредности. На шта се тачно мисли када се то каже, ако се узме и посматра период од десете секунде до двадесете секунде на слици 0.43, види се да иако је улазни сигнал на контакту А достигао 5V а улазни сигнал на каналу В је и даље једнак нули, према једначини 2 излазни напон би требао да буде једнак 5V ($V_{out}=V_A-V_B=5-0=5$), али мерење показује да он не износи толико већ 4.5V. Исти проблем се јавља и када је улазни напон на контакту А једнак нули а улазни напон на контакту В износи 5V. Тада би према једначини 2 излазни напон требао да буде -5V ($V_{out}=V_A-V_B=0-5=-5$), али мерења показују да се опет ради о вредности од -4.5V. О овоме треба водити рачуна при раду са овим елементом.

4.2. Конвертори

Конвертори, као и што име сугерише, конвертују један вид сигнала на улазу у други вид сигнала на излазу елемента. У овом раду разматраће се конвертори који долазе уз DL2312HG.

4.2.1. Конвертор напона у струју, "V/I Converter"

Симбол овог конвертора је дат на слици 73. Конвертор поседује један улазни и један излазни контакт.



Слика 73. Симбол V/I конвертора

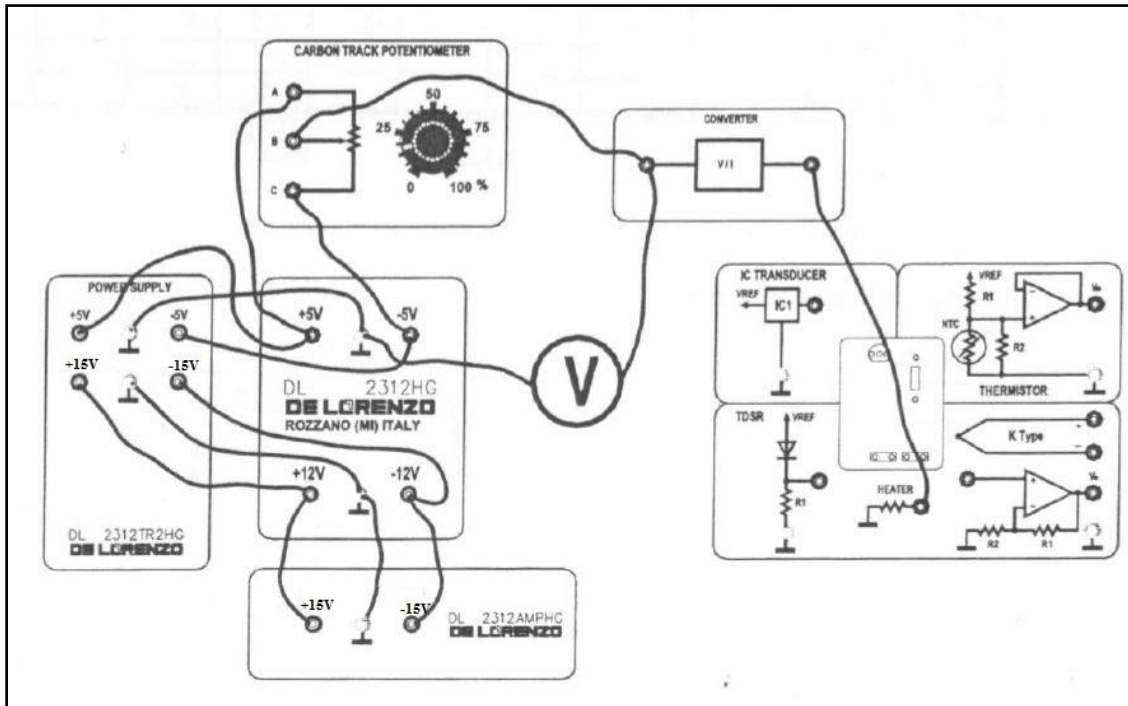
Намена овог конвертора је да трансформише напон на улазном контакту у струју на излазном контакту. Карактеристике дате од стране произвођача за овај елемент су дате у табели 6.

Корак улазног напона	2V
Корак излазне струје	20mA max
Преносни однос	10mA/V

Табела 6. Карактеристике дате од стране произвођача

$$I_{out}=V_{in}*10mA/V \quad (3)$$

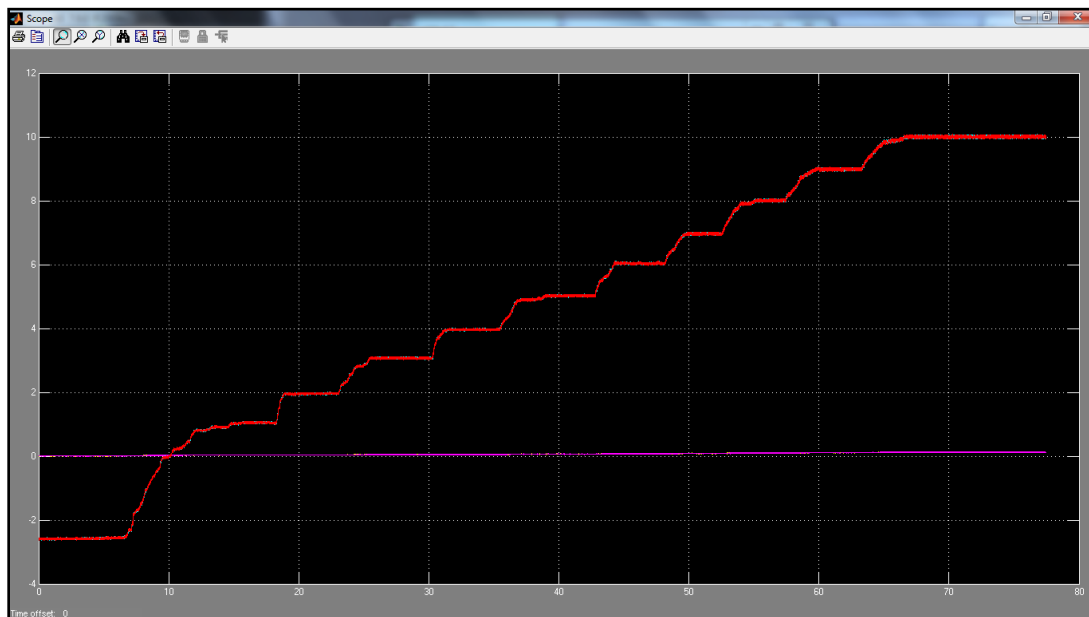
Једначина (3) представља формулу по којој се рачуна вредност излазне струје ако је познат улазни напон. Примена овог конвертора се може видети на слици 74.



Слика 74. Шема примене конвертора напона у струју

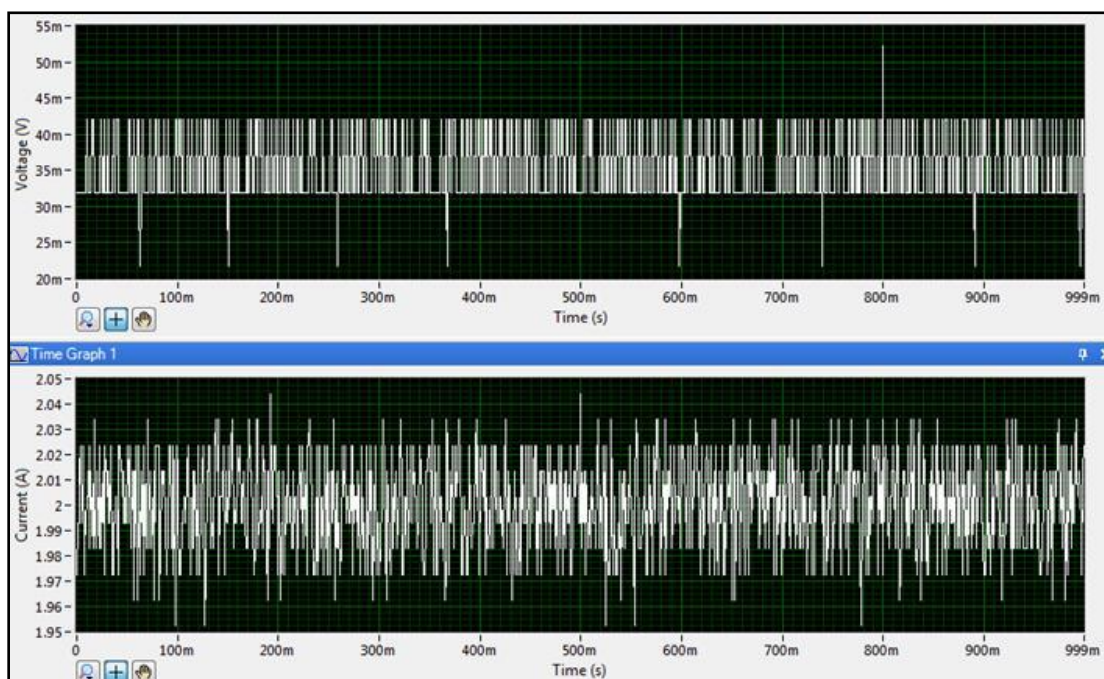
Са слике 74. се види да се конвертор напона у струју налази између потенциометра и грејача који је потрошач. Улазни сигнал је напонски, и вредност тог напона се дефинише преко потенциометра који напајање добија са извора једносмерног напона. Мерење у горе наведеном случају се врши само на улазни сигнал па се преко преносног односа рачуна вредност струје на излазу. Ова шема је дата у оквиру објашњења примене овог конвертора. У складу са досадашњом праксом, пример аквизације сигнала са овог елемента биће поједностављен, биће изузет потрошач. Дакле разматраће се случај када имамо напонски улаз који се добија по истом принципу и струјни излаз који меримо. Приказ мерених сигнала је дат на слици 75, љубичастим сигналом је обележена промена улазног напона током времена, а црвеном бојом је обележен излазни сигнал. Сигнале са улаза и излаза треба повезати са AI+ терминалима и одговарајуће GND терминале са уземљењем уређаја DL2312HG.

Излазни сигнал је струјни сигнал у мили амперима [mA], а улазни у волтима. Због преносног односа елемента и вредности улазног сигнала за врло мале промене напона у волтима јављају се велике промене у мили амперима. Због тога је приказ на слици 75. неповољан ако се посматра улазна вредност напона. У том случају потребно је извршити скалирање улазног сигнала помоћу опција Score-a. Предност овог вида приказа је да показује да је контрола излазног сигнала једноставна.



Слика 75. Приказ улазног и излазног сигнала конвертора напонског сигнала у струјни

Једноставније праћење улазног и излазног сигнала са овог елемента може се постићи коришћењем "LabView"-а. На слици 76. је приказан пример приказа резултата мерења путем "LabView"-а.



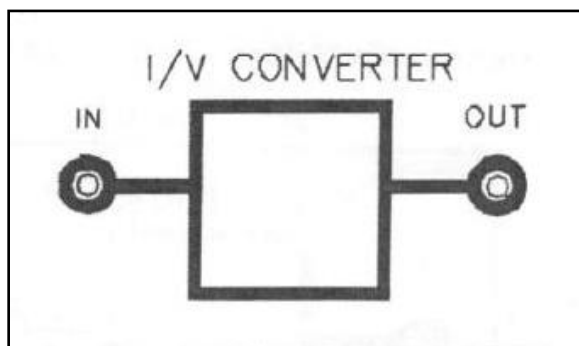
Слика 76. Резултати мерења приказани у "LabView"-у

Горњи сигнал је улазни напонски сигнал, а доњи сигнал је излазни струјни сигнал. Када се упореде измерене вредности сигнала са оним вредностима које би требало да се добију на основу теријских вредности и датог преносног односа закључује се да постоји

разлика у вредностима. О овоме треба водити рачуна при пројектовању кола које укључују ове елементе.

4.2.2. Конвертор струје у напон, "I/V Converter"

Симбол овог конвертера је дат на слици 77.



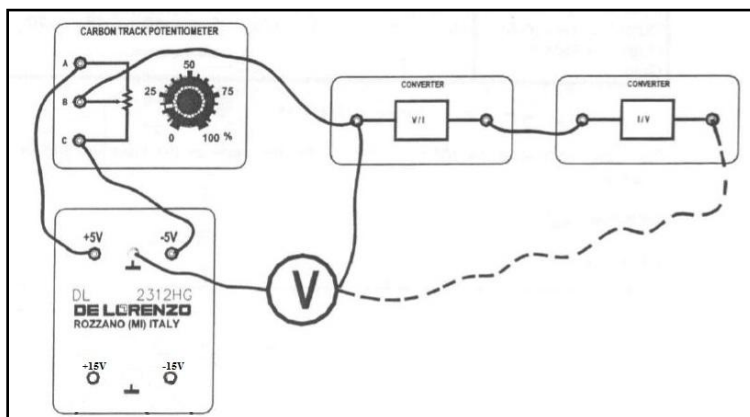
Слика 77. Симбол конвертора струјног сигнала у напонски сигнал

За разлику од претходно разматраног конвертора, овај конвертор трансформише улазни струјни сигнал у напонски излазни сигнал. Карактеристике дате од стране произвођача су дате у табели 7. Ове карактеристике треба узети са резервом, јер ће се показати да преносни однос није тачан.

Корак улазн струје	20mA (100mA max)
Корак излзног напона	2V (6V max)
Преносни однос	0.1V/mA

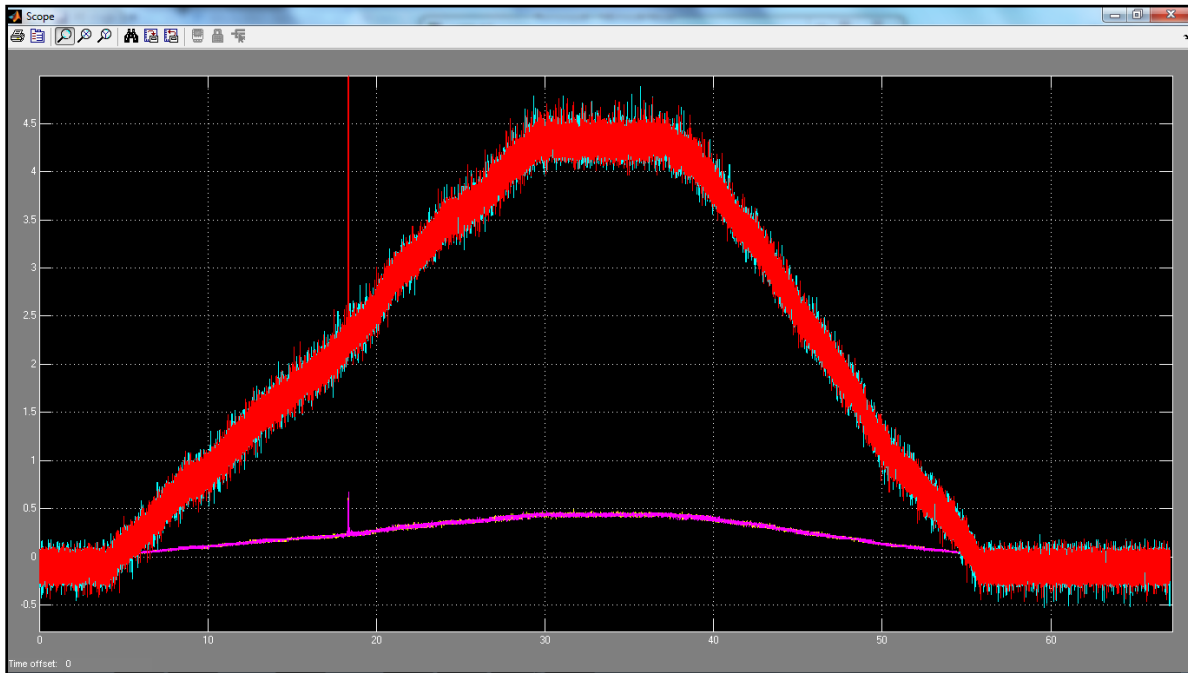
Табела 7. Карактеристике конвертора струје у напон

Због једноставности корићења V/I и I/V они су дизајнирани тако да буду комплементарни. Шема принципа примене и рада конвертора струје у напон и принципа мерења сигнала са њега дата је на слици 78.



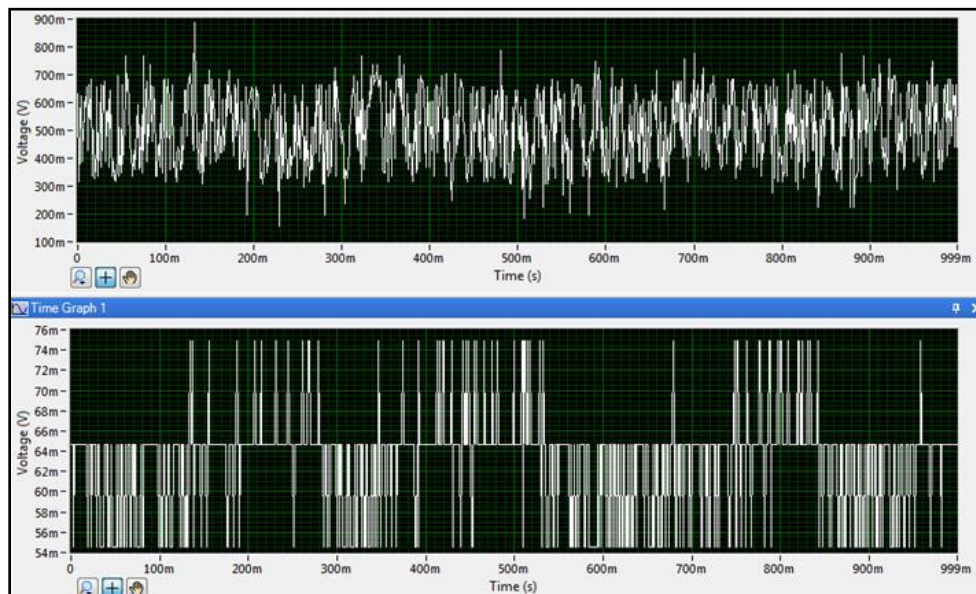
Слика 78. Шема повезивања кола за тестирање конвертора струјног сигнала у напонски сигнал

Коло за тестирање I/V конвертора је регулисано на следећи начин: на потенциометар се доводи једносмеран напон од 5V са извора напона. Са излазног контакта потенциометра напон се доводи на V/I конвертор. Са излазног контакта V/I конвертора струјни сигнал се доводи на I/V конвертор где се затим врши претварање тог сигнала у напонски сигнал. На шеми 78. је приказано да се мери улазни напон у V/I конвертор и излазни напон са I/V конвертора. Те сигнале је потребно повезати на одговарајуће AI+ терминале NI6008 картице, и одговарајуће GND терминале са уземљењем уређаја DL2312HG. Када је све подешено може се кренути са мерењем сигнала. Добијени резултати су дати на слици 79.



Слика 0.79 Приказ улазног и излазног напона кола са слике 0.49

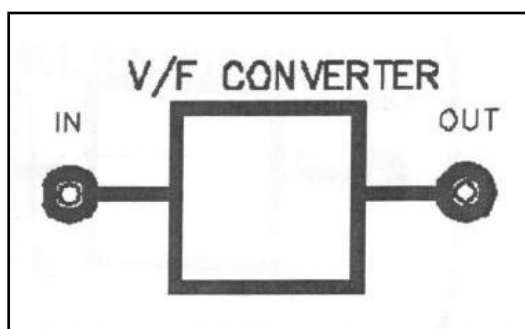
На слици 79. љубичастим сигналом је представљен улазни сигнал у V/I конвертер а црвеним сигналом излаз из I/V конвертера. Прво шта се запажа јесте да постоји повећање шума сигнала, који настаје као последица појачања сигнала у колу. Ако се узме у обзир да су елементи V/I и I/V комплементарни, и да су преносни односи такви да би требао да се добије исти излазни напон као и улазни, закључује се да појачања нису као што су предвиђена карактеристикама које је дао произвођач. Појачање целог кола уместо 1, јер би требало да се пониште појачања од 10mA/V и 0.1V/mA, износи 10. Ово се још боље може видети на графицима снимљеним у "LabView"-у, слика 80. Доњи сигнал представља улазни сигнал у коло и он износи 0.6V, а горњи сигнал је излазни сигнал из кола и он износи 6V. На основу овога се потврђује да је појачање 10, и ово не треба да изазива даље забуне при разматрању ових елемената.



Слик80. Упоредни приказ улазног сигнала у коло и излазног сигнала из кола

4.2.3. Конвертор напона у фреквенцију, "Voltage to Frequency Converter" (V/F)

Симбол кола је приказан на слици 81.



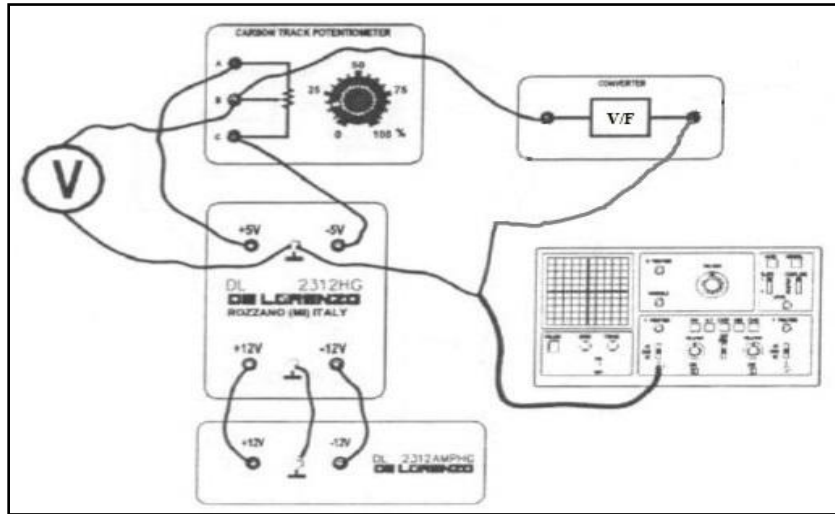
Слика 81. Симбол V/F конвертера

Овај елемент конвертује напон на улазном контакту у фреквенцију на излазном контакту, са тим да је фреквенција на излазном контакту пропорционална вредности улазног напона. Излазни сигнал је правоугаоног облика. Карактеристике дате уз ово коло се могу видети у табели 8.

Тип примењеног кола	LM331
Улазни напон	12V max
Преносни однос	1kHz/V
Максимална фреквенција	10kHz
Нелинеарност	0.024% целе карактеристике 0.14%max

Табела 8. Преглед карактеристика конвертора напона у фреквенцију

Из опсега излазне фреквенције и из преносног односа, види се да је примена NI6008 картице за мерење излазног сигнала веома ограничена услед њене максималне фреквенције одабирања. Стога се препоручује да се излазни сигнал мери путем осцилоскопа. Примена мерача фреквенције у оквиру бројача на систему DL2312HG није могућа, јер и када је улазни напон једнак нули излазна фреквенција превазилази могућности мерења путем бројача. Шема која показује како је могуће остварити повезивање овог елемента и како је могуће извршити аквизацију података дата је на слици 82.

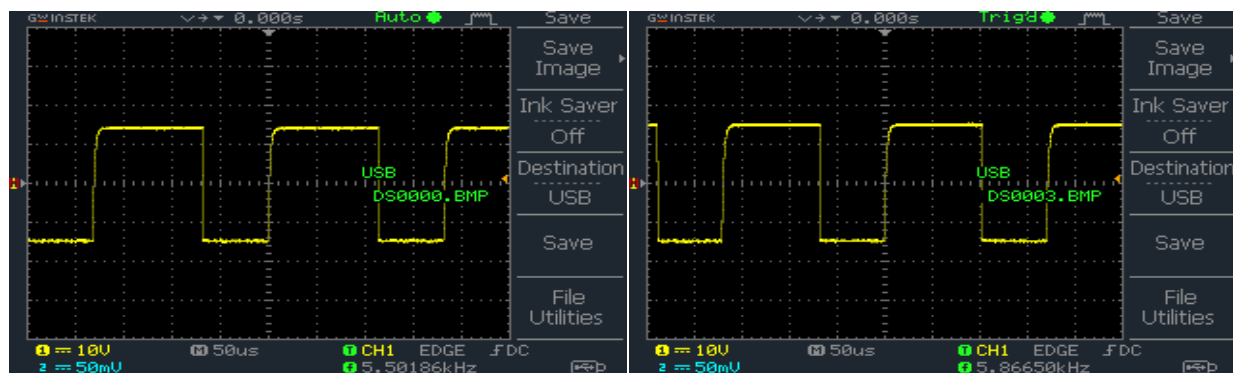


Слика 82. Шема повезивања V/F конвертора са остатком кола

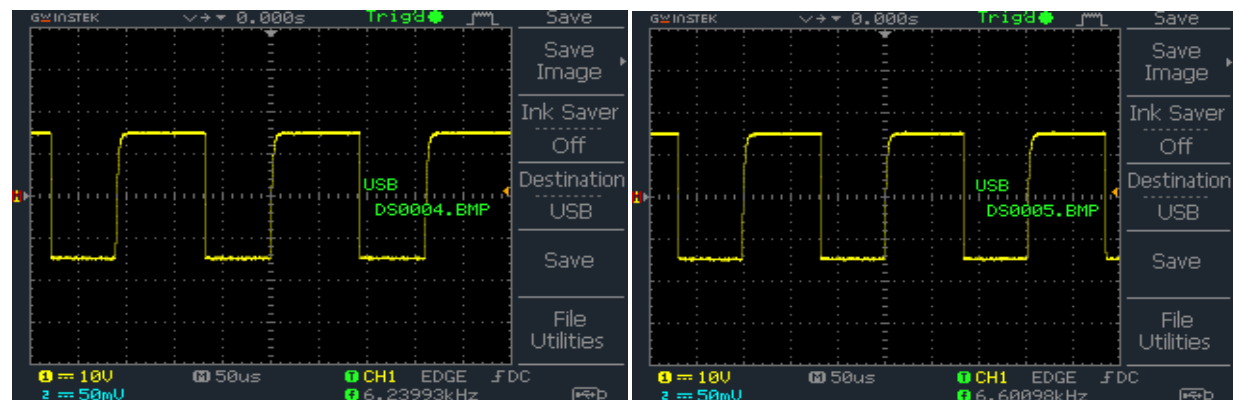
Напон на улазу конвертора се добија са потенциометра. А на потенциометар се напон доводи са генератора једносмерног напона. Као што се може приметити показано је где треба конектовати каблове за правилно мерење. Мерење улазног напона се врши помоћу NI6008 картице на већ описан начин, а излазни сигнал се мери осцилоскопом. Промене вредности напона током времена су приказане на слици 83, а одговарајуће вредности излазног сигнала су дате на сликама које следе.



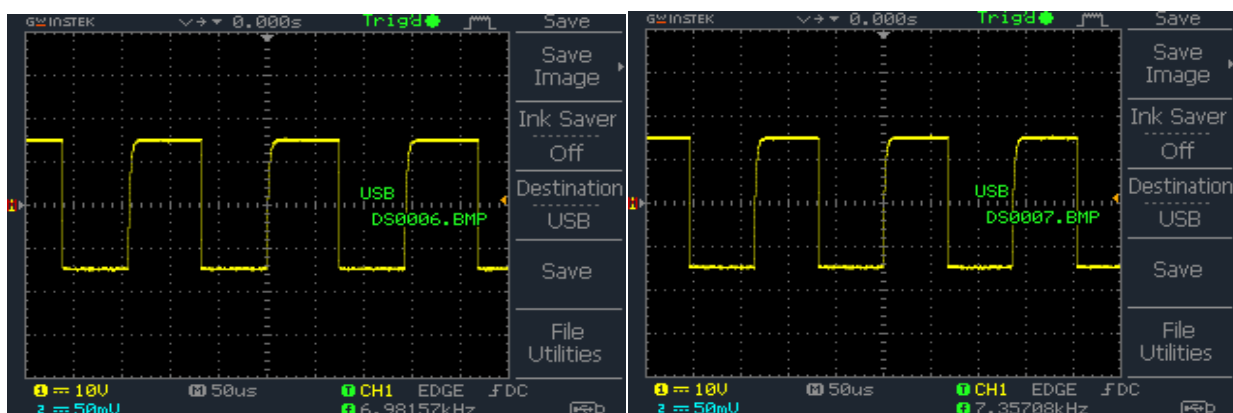
Слика 83. Промене вредности напона у току времена



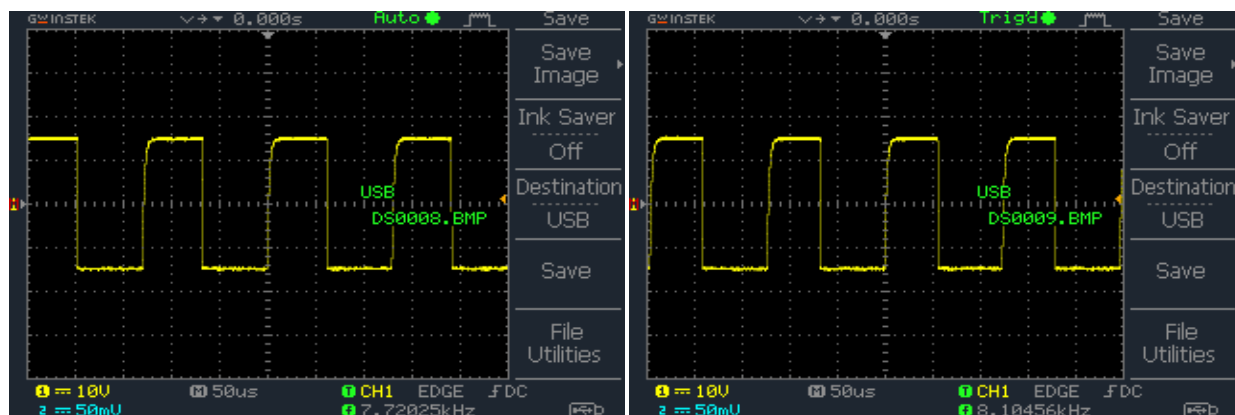
Слика 84. Фреквенција када је $V_u=0V$ (лево) и фреквенција када је $V_u=1V$ (десно)



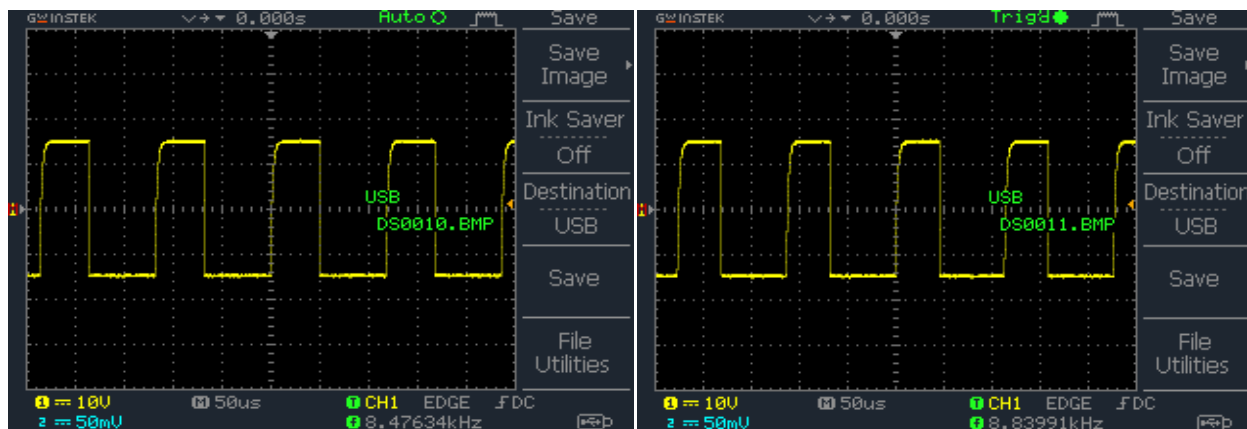
Слика 85. Фреквенција када је $V_u=2V$ (лево) и фреквенција када је $V_u=3V$ (десно)



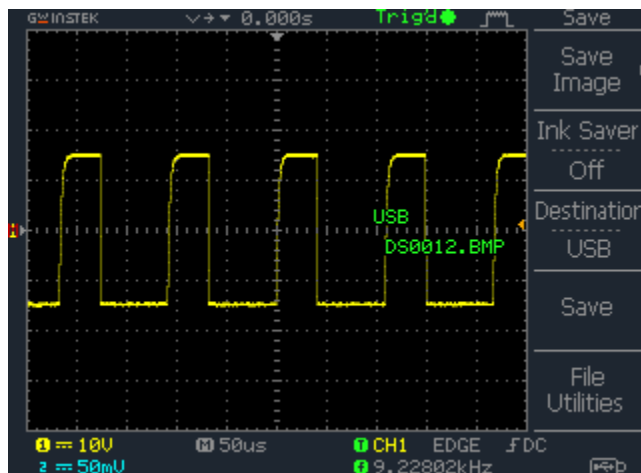
Слика 86. Фреквенција када је $V_u=4V$ (лево) и фреквенција када је $V_u=5V$ (десно)



Слика 87. Фреквенција када је $V_u=6V$ (лево) и фреквенција када је $V_u=7V$ (десно)



Слика 88. Фреквенција када је $V_u=8V$ (лево) и фреквенција када је $V_u=9V$ (десно)

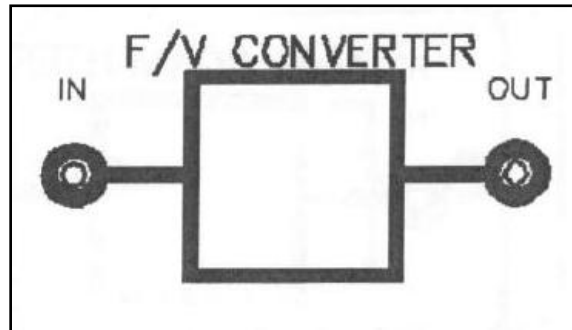


Слика 89. Фреквенција када је $V_u=10V$

Са приказаних графика се може закључити да са повећањем улазног напона повећава се и излазна фреквенција. Међутим преносни однос није идеалних 1kHz/V већ варира. То стоји као напомена при раду са овим конвертором.

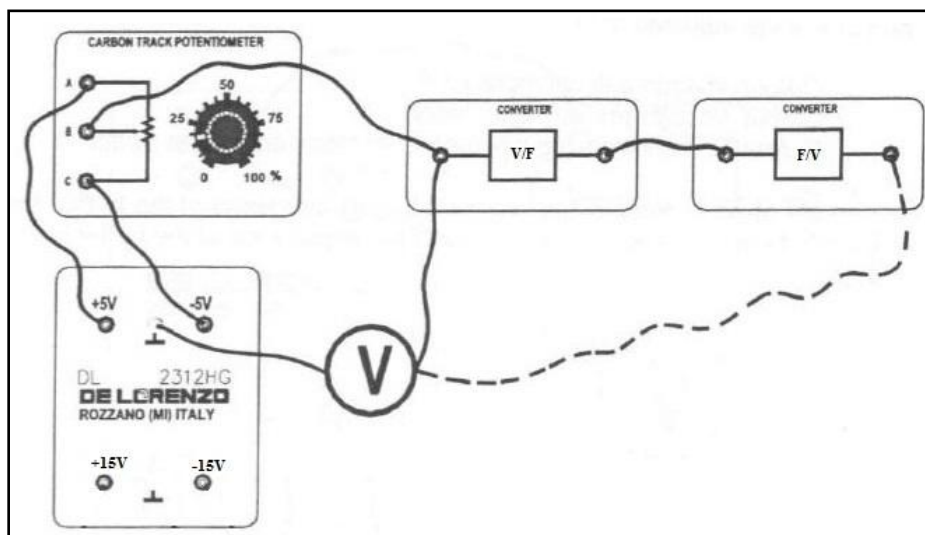
4.2.4. Конвертор фреквенције у напон, "Frequency to Voltage Converter" (F/V)

Симбол овог елемента дат је на слици 90.



Слика 90. Симбол F/V конвертора

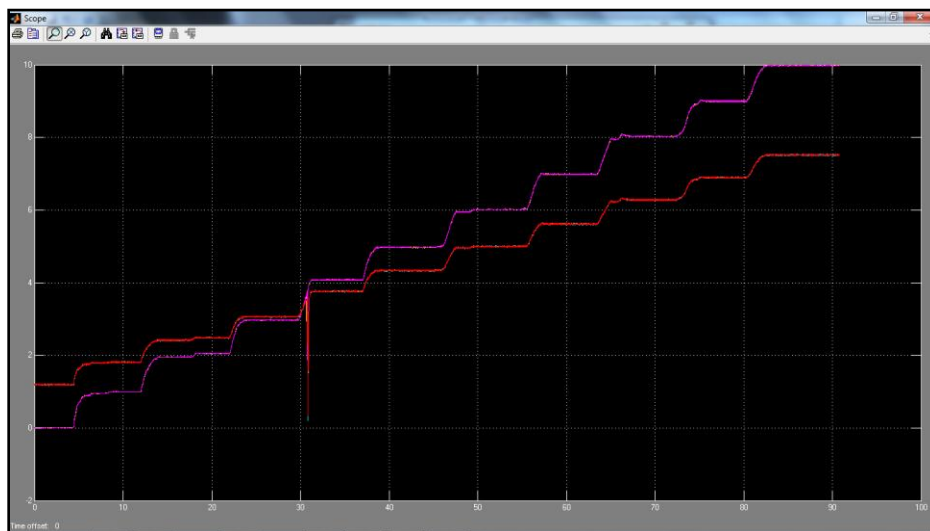
F/V конвертор трансформише улазни сигнал у излазни напонски сигнал чији је интензитет сразмеран фреквенцији улазног сигнала. Овај елемент је суплементан V/F конвертору, што значи да би у идеалном случају излазни напон са F/V конвертора био једнак улазном напону у V/F конвертор ако би они били на ред везани. То је и урађено и закључено је да се вредности разликују. Шема повезивања коришћена при испитивању овог елемента дата је на слици 91.



Слика 91. Приказ шеме коришћене за испитивање елемента F/V

Улазни напон у V/F конвертор се доводи са излазног контакта потенциометра, а затим излазни сигнал са V/F конвертора се води на F/V конвертор. Пошто је у питању

мерење два напонска сигнала могуће је користити NI6008 картицу. Да би мерење било успешно неопходно је да се излазни сигнал са потенциометра и излазни сигнал са F/V конвертора повежу са по једним AI+ терминалом на картици, и да се на одговарајуће GND терминале узетих AI+ терминала доведе уземљење са DL2312HG уређаја. Добијена карактеристика ових сигнала дата је на слици 92.



Слика 92. Упоредни приказ улазног и излазног сигнала кола за испитивање F/V конвертора

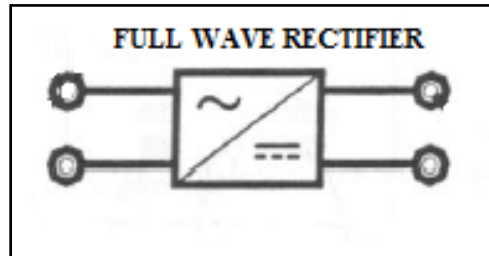
Са љубичастом бојом је приказан улазни сигнал у коло, односно сигнал на излазу из потенциометра. Сигнал представљен црвеном бојом потиче са излаза F/V конвертора. Примећује се да иако би теоретски требали да буду једнаки они то ипак нису, дакле постоји неслагање међу њима које потиче од несавршености елемента укључених у формирање кола. У почетном тренутку када је улазни сигнал једнак нули постоји излазни сигнал од 1.6V. Када улазни сигнал почне да расте разлика између улазног и излазног сигнала се смањује, да би потпуно нестала у тренутку када улазни сигнал достигне вредност од 3V. Након тога улазни сигнал постаје све већи и већи од излазног иако би требали да буду исти. Највећа забележена разлика долази на самом крају и за улазни сигнал који је једнак 10V излазни сигнал износи 7.5V. Карактеристике дате од стране произвођача се могу видети у табели 9, и упоређивањем њих са добијеним резултатим треба их посматрати са резервом.

Улазна фреквенција	10kHz max
Преносни однос	1V/kHz
Временска константна	100ms
Тачност	0.1%
Излазни шум	10mV
Излазна импеданса	100kΩ

Табела 9. Карактеристике F/V дате од стране произвођача

4.2.5 Исправљач таласа, "Full Wave Rectifier"

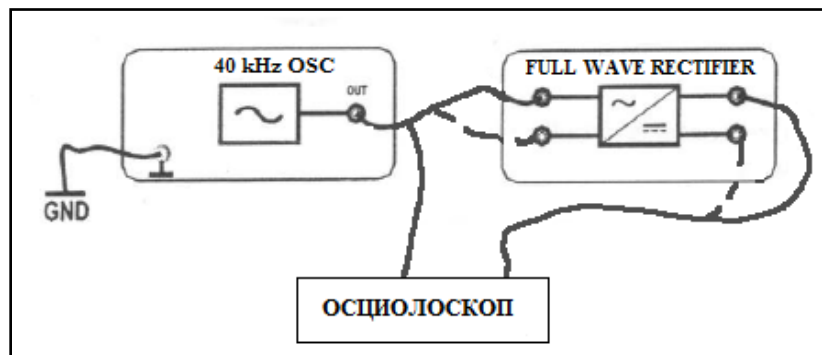
Симбол овог исправљача може се видети на слици 93.



Слика 93. Симбол исправљача таласа

Исправљач таласа дат у оквиру лабораторијског система DL2312CHG је исправљач који конвертује улазни сигнал без обзира на његов поларитет, у једносмеран сигнал са позитивним поларитетом. Ове чињеница омогућавају мерење наизменичних сигнала инструментима за једносмерне сигнале.

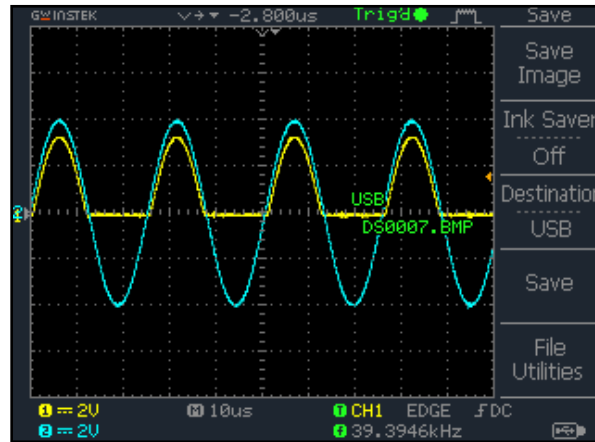
"Full Wave Rectifier" поседује два пара контаката. Први пар се састоји од једног улазног контакта и једног излазног контакта. Овај пар се односи на горње постављене контакте. Када се наизменичан напонски сигнал доводи на улазни контакт овог пара на излазу се појављује сигнал коме је одсечена негативна полупериода. Други пар се састоји такође од једног улазног контакта и једног излазног контакта. Овај пар се односи на доње постављене контакте. Функција овог пара јесте да уместо да само одсече негативну полупериоду он је инвертује и она постаје позитивна полупериода. Није могуће користити оба пара контаката истовремено. Да би било јасније како функционише овај елемент и како се сигнали са њега мере искоришћена је шема као на слици 94. и постављено је такво коло.



Слика 94. Приказ кола преко кога су описане карактеристике исправљача таласа

Као извор сигнала који се доводи на улаз "Full Wave Rectifier"-а изабран је генератор наизменичног напона фреквенције 40 kHz. Руководећи се фреквенцијом улазног сигнала за мерни инструмент је изабран осцилоскоп. Мере се два сигнала, па се морају активирати

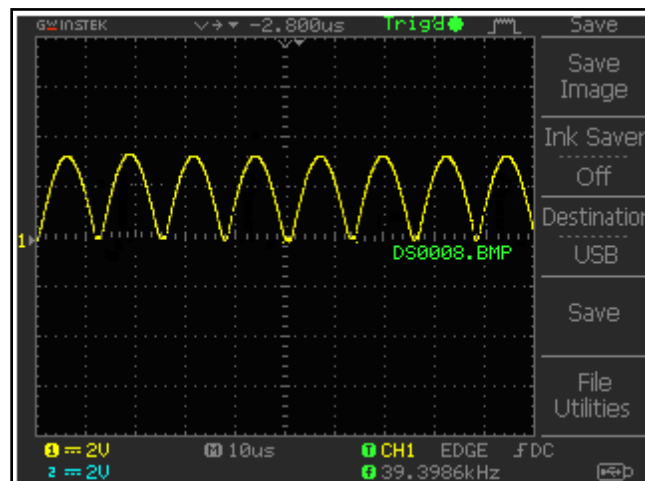
оба канала за мерење на осцилоскопу. Посматрају се улазни сигнал и излазни сигнал, у оба случаја рада исправљача. На слици 95. дата су карактеристике улазног и излазног сигнала у случају када се сигнал доводи на први пар контаката.



Сликс 95. Приказ рада исправљача таласа када се сигнал доводи на први пар контаката

Плавом линијом је представљен улазни сигнал, може се видети да је он правилног синусног облика. Са жутом линијом је приказан излазни сигнал. Види се да овај елемент ради баш како и треба да ради у овом случају, а то је да одсеца негативне полупериоде. Поред тога што исправља сигнал види се да постоји гушење сигнала. Улазни сигнал има $V_{pri}=8V$, а излазни сигнал има $V_{pri}=3.6V$. Пошто се одсеца негативан део V_{pri} има дупло мању вредност, јер се односи само на пола V_{pri} (4V). Фреквенција сигнала остаје иста.

Други случај, користи се други пар контаката, доноси другачији излазни сигнал који се може видети на слици 96. Види се да и у овом случају елемент ради како је предвиђено, а то је да негативне полупериоде инвертује и претвори их у позитивне. И сада постоји гушење сигнала о чему треба водити рачуна. Улазни сигнал је исти као код првог мерења па сада није приказан.

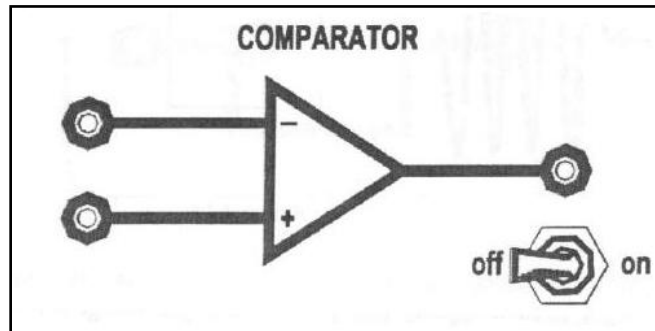


Слика 96. Изглед излазног сигнала при коришћењу другог пара контаката.

4.3. Компаратори, Осцилатори, Филтри

4.3.1. Компаратор, " Comparator"

Симбол компаратора је дат на слици 97.



Слика 97. Симбол компаратора

Иако на први поглед постоје многе сличности са диференцијалним појачавачем, карактеристике овог елемента се значајно разликују од карактеристика диференцијалног појачавача. Код диференцијалног појачавача излаз може да буде било које вредности из опсега излазног сигнала, док код компаратора излазни сигнал може да узме само једну од две вредности и то:

1. +12V ако је улазни сигнал на контакту А већи или једнак улазном сигналу на контакту В ($A \geq B$);
2. Приближно 0V ако је сигнал на контакту А мањи од сигнала на контакту В ($A \leq B$);

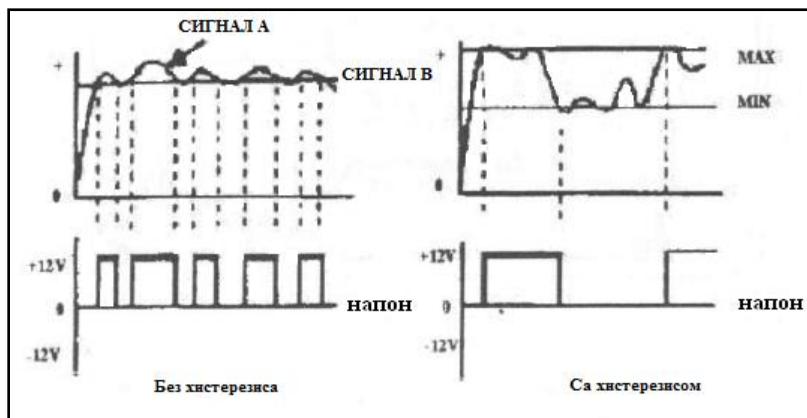
Контакт А је означен са +, а контакт В је означен са -. Очитавање сигнала са овог елемента је исто као и са већине елемената до сада поменутих. Карактеристике дате од произвођача су наведене у табели 10.

Улазни напон	+12V max
Офсет улазног напона	9mV
Излазни напон	+12V или 0V
Хистерезис	4.2V

Табела 10. Карактеристике компаратора

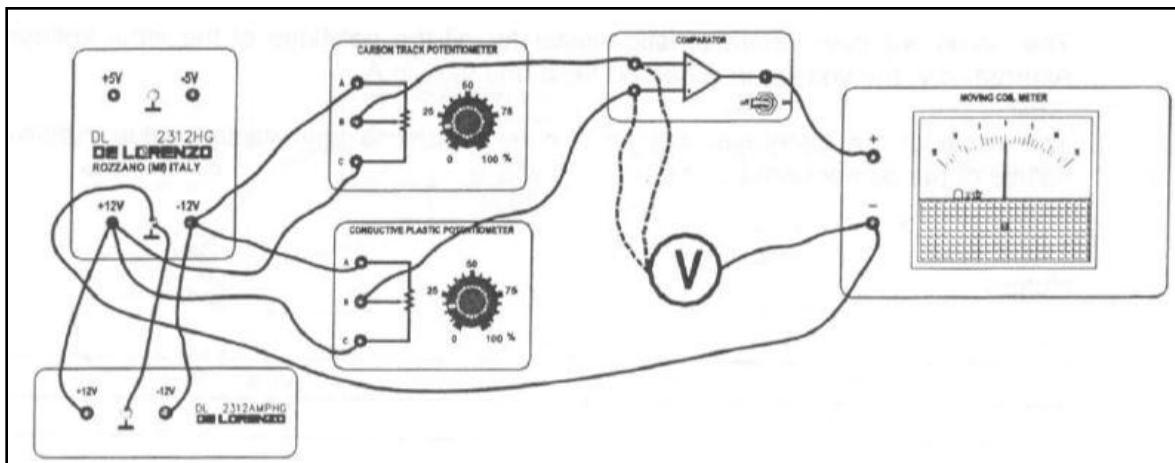
Сада се поставља питање чему служи двопозициони прекидач који се налази у оквиру компаратора. Преко прекидача је дата опција да се изабере да ли жели да се ради са хистерезисом или не. Када је прекидач у "off" положају искључује се хистерезис, а када је прекидач у "on" положају укључује се рад са хистерезисом. Ова могућност је остављена да би се регулисало често укључивање и искључивање уређаја, односно да би се кориговао број укључења и искључења у јединици времена. Наиме, ако се на улазе

компаратора доводе сигнали приближно исте вредности може доћи до честе промене излазног сигнала и тиме коло постаје нестабилно. Ово се превазилази увођењем хистерезиса и тада је потребно да се повећа разлика између два сигнала да би се стање на излазу променило. Ова појава је графички представљена на слици 98.



Слика 98. Графички приказ употребе хистерезиса

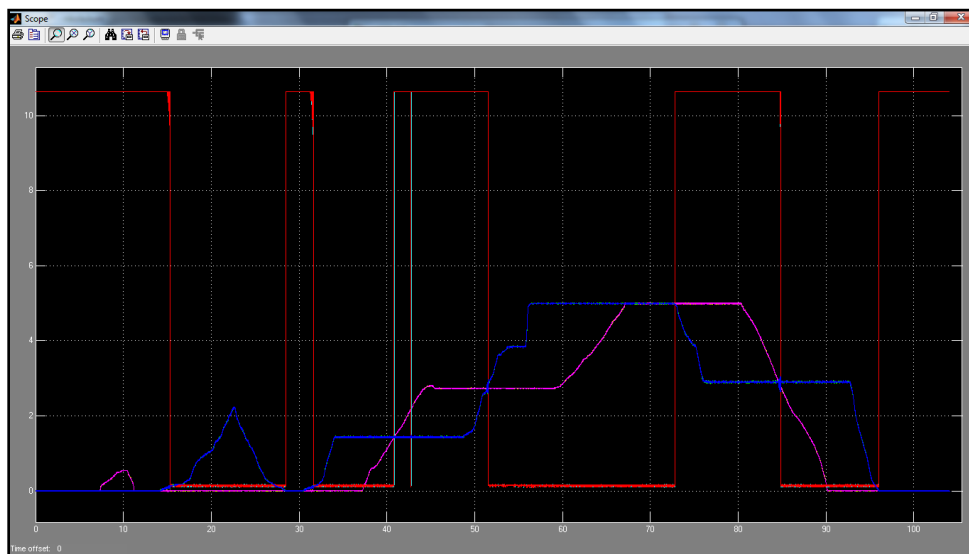
Са графика на слици 98. јасно се види да када сигнали варирају око приближно исте вредности, а хистерезис није укључен, уређај чешће мења стање напона на излазу. Кроз пример који ће бити показан урађена су оба случаја. Шема примера је дата на слици 99.



Слика 99. Примена компаратора

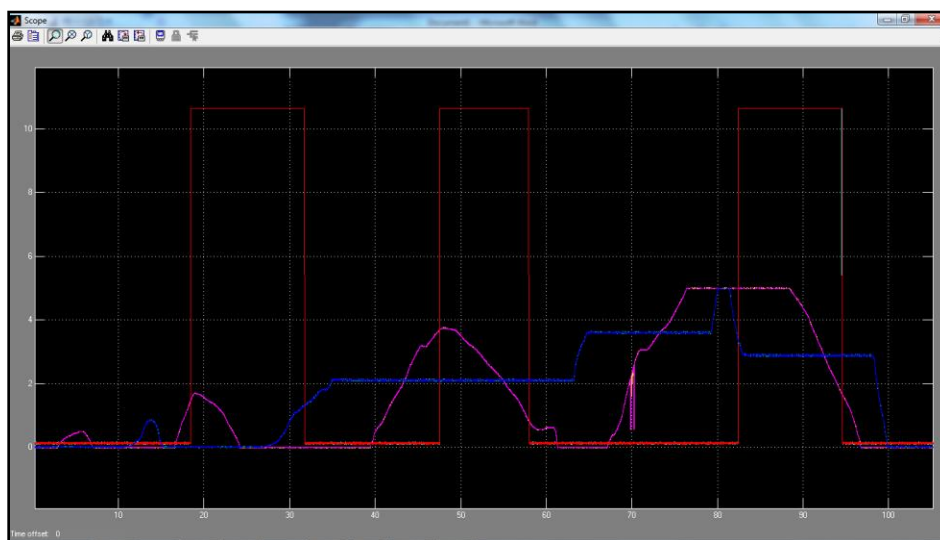
За разлику од претходних примера, у овом је показано да је могуће сигнале мерити и са аналогним мерачем који је у склопу система DL2312HG. Без обзира на то сигнали су мерени уз помоћ NI6008 картице. Иако картица улази у засићење на 10V, улазни напон од 12V не представља проблем па је решено да се тако представи дејство компаратора јер је доста прегледно. Мере се два улазна сигнала, сигнали А и В, и један излазни сигнал. Систем повезивања је исти, сви сигнали се одводе на AI+ терминале, и GND терминале који одговарају AI+ терминалима повезујемо са уземљењем уређаја DL2312HG.

Добијени резултати за снимање карактеристика без хистерезиса су дати на слици 100, а резултати снимања карактеристика са хистерезисом су дати на слици 101.



Слика 100. Понашање компаратора без хистерезиса

Љубичасти сигнал представља улазни сигнал са канала А, плави сигнал представља улазни сигнал на канал В и црвени сигнал представља излазни сигнал. Дакле, да би излазни сигнал постојао значи да сигнал А мора да буде већи од сигнала В. Посматрањем слике 101. се долази до истог закључка.



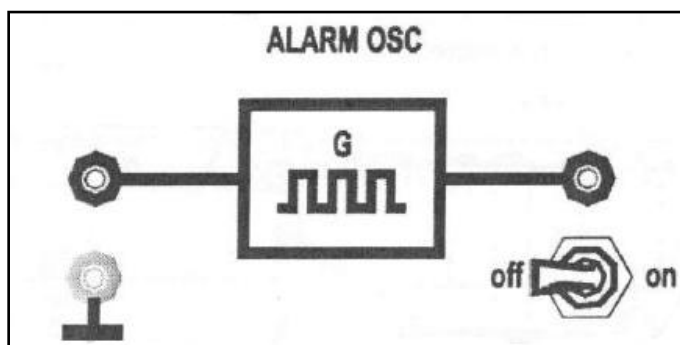
Слика 101. Карактеристика компаратора када је укључен хистерезис

И у овом случају љубичасти сигнал на слици 101. представља улазни сигнал на контакт В, плави сигнал улазни сигнал на контакт А а црвени сигнал представља излазни сигнал. Посматрањем карактеристике када је укључен хистерезис закључује се да је

хистерезис заиста постоји и да је потребно да сигнал А за одређену вредност буде већи или мањи од сигнала В да би се јавила промена на излазу.

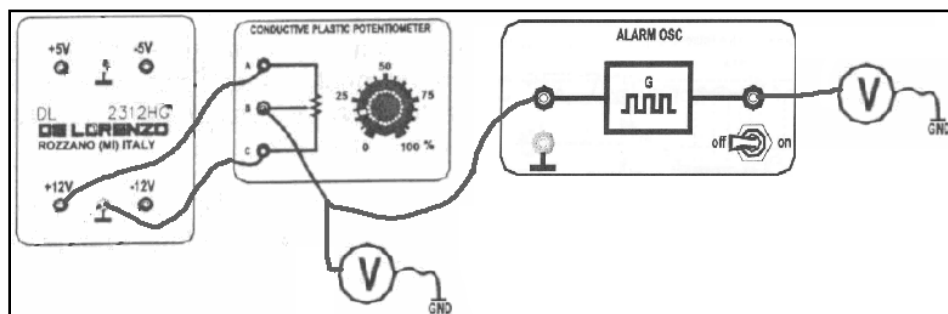
4.3.2. Аларм осцилатор, "Alarm Oscillator"

Симбол аларм осцилатора је дат на слици 102.



Слика 102. Симбол аларм осцилатора

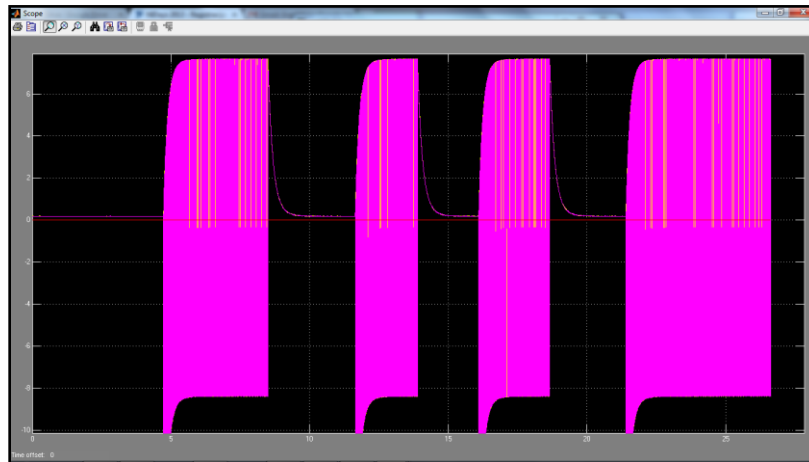
Аларм осцилатор је замишљен и реализован тако да се састоји од два дела. Први део чини компаратор који упоређује улазни напон са задатим референтним напонем и у зависности од тог односа у рад се пушта други елемент, осцилатор, који или даје или не даје излазни сигнал у зависности од вредности разлике улазног и референтног сигнала. Ово све је интегрисано тако да аларм осцилатор у комплекту има један улаз и један излаз. Када је улазни сигнал малог интензитета осцилатор не ради и не постоји сигнал на излазу, односно постоји мали напон који може да се занемари. Када вредност улазног напона превазиђе одређену границу јавља се излазни сигнал који је правоугаоног облика. Тако би теоретски требао да ради, али пракса је показала нешто другачије. Шема кола путем кога је описана карактеристика осцилатора, као и начин мерења дата је на слици 103..



Слика 103. Шема повезивања аларм осцилатора са остатком кола.

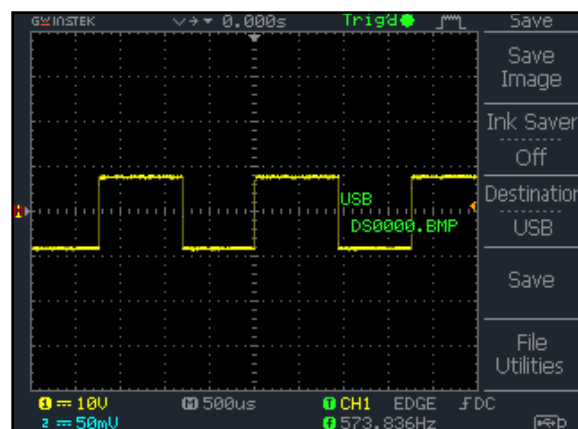
На улазни контакт аларм осцилатора доводи се напонски сигнал са потенциометра. На потенциометар се напон доводи са извора једносмерног напона. Мере се два сигнала, улазни сигнал и излазни сигнал. Начин повезивања сигнала са NI6008 картицом је

идентичан као и до сада када су се мерили напонски сигнали. Овде је потребно напоменути да је могуће (препоручено) користити осцилоскоп за мерење излазног сигнала јер је осцилаторне природе. Када је је испитивање вршено, вршено је тако што се прво посматрала карактеристика када је прекидач у off па затим онда у on положају. Добијени резултати се не поклапају са теоретским делом. Наиме, на слици 104. је дата снимана карактеристика.



Слика 104. Добијена карактеристика аларм осцилатора

Прво шта треба напоменути јесте да је временски период снимања сигнала двадесет и седам секунди. Због тога и због фреквенције излазног сигнала, излаз из аларм осцилатора је као што је приказно на слици 104. љубичастим сигналом доста непрегледан. Иначе, ако се тај исти сигнал погледа путем осцилоскопа, слика 105, види се да је он правоугаоног облика и да је $V_{pp} = 16V$, са фреквенцијом осциловања од 573Hz.



Слика 105. Сигнал на излазу из аларм осцилатора

Црвени сигнал на слици 104, представља улазни сигнал. Као што се запажа улазни сигнал се није мењао током посматрања и једнак је нули. Поставља се питање како настаје промена излазног сигнала ако се улазни сигнал не мења. Чим је коло пуштено у рад, на

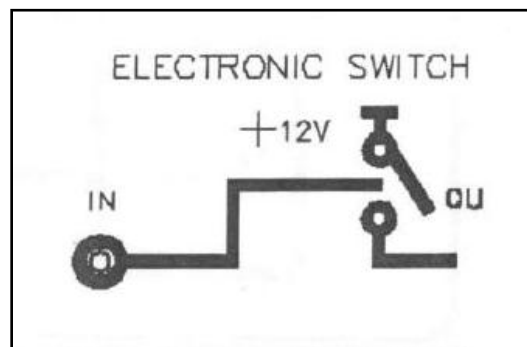
излазу из аларм осцилатора се појавио излазни сигнал иако је улазни сигнал био једнак нули. Затим је физички раздвојен излазни контакт потенциометра и улазни контакт аларм осцилатора. У том тренутку вредност излазног напона пада на нулу. Када се процедура понови дешава се иста ствар. Чим се споје излазни контакт, потенциометар и улазни контакт аларм осцилатора појави се излазни сигнал иако је и даље улазни напон једнак нули. По раздвајању излазни сигнал се враћа на нулу.

Када се прекидач постави на он постоји само једна разлика, а то је да и када дође до раздвајања излазни сигнал наставља да постоји. Њега је тада једино могуће угасити тако што се прекидач врати у позицију off.

Упоредивањем рада аларм осцилатора са теоретским принципом рада, и упоређивањем карактеристика датих од стране произвођача са измереним карактеристикама долази се до закључка да постоји доста неслагања о којим је потребно водити рачуна.

4.3.3. Електронски прекидач, "Electronic Switch"

Симбол електронског прекидача је дат на слици 106.



Слика 106. Симбол електронског прекидача

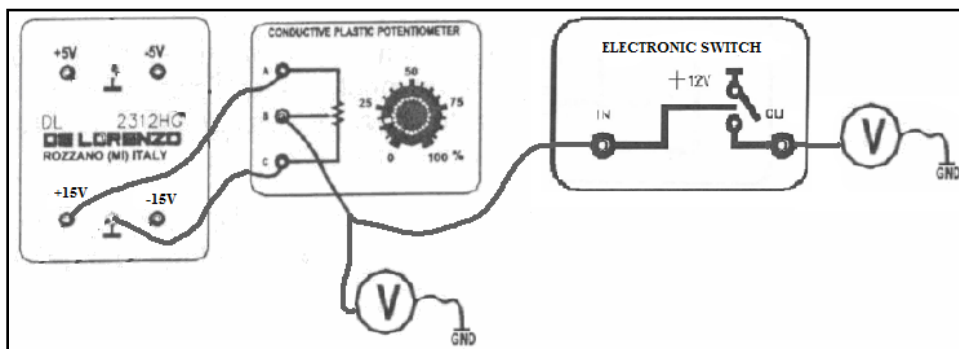
Електронски прекидач који се налази у оквиру лабораторијског система DL2312HG се у суштини састоји од појачавача снаге који ради као статички прекидач. За улазни напон испод одређене вредности прекидач је отворен, за улазне напоне изнад одређене вредности прекидач се затвара. Произвђач је дао карактеристике за овај елемент и оне су дата у табели 11.

Улазни напон	12V max
Напон затвореног прекидача	2.1V
Излазна струја	1A

Табела 11. Карактеристике електронског прекидача

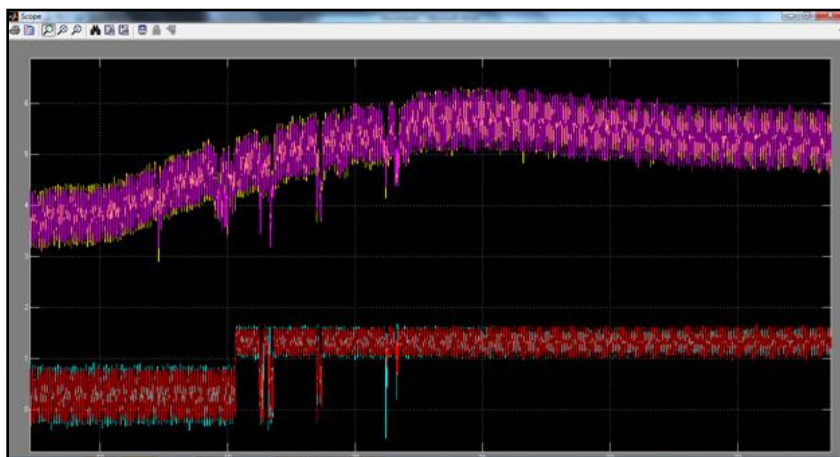
Снимање карактеристика овог кола је извршено на основу шеме са слике 107. На њој се види да се мере два сигнала. Улазни сигнал у електронски прекидач и излазни

сигнал са електронског прекидача. Мерење је извршено помоћу NI6008 картице. На AI+ терминале доводе се сигнали са потенциометра (улазни сигнал у електронски прекидач) и са излаза електронског појачавача. За изабране AI+ терминале потребно је и њима одговарајућим GND терминалима довести уземљење са уређаја DL2312HG. Када се све постави како треба може да се одпочне са мерењем.



Слика 107. Приказ шеме при мерењу карактеристике електронског прекидача.

Измерена карактеристика је приказана на слици 108.

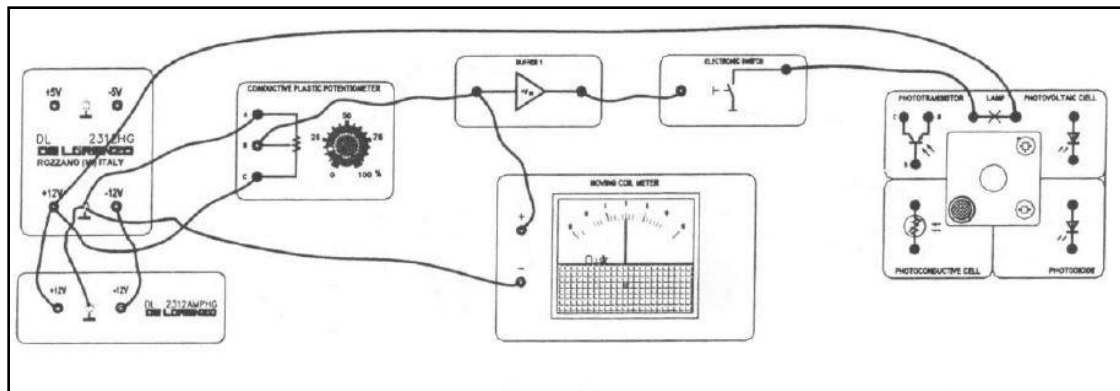


Слика 108. Карактеристика излазног сигнала електронског појачавача

Мерење је вршено тако што је подешено да улазни сигнал у почетном тренутку буде једнак нули, а затим се вредност улазног сигнала постепено повећавала. На слици 108. је приказан тренутак када се прекидач затвара. Напон је константно растао и када је достигао вредност од 4.8V прекидач се затворио и на његовом излазу појавио се излазни сигнал од 1.5V. Ова вредност се разликује од оне коју је произвођач навео.

Практична примена електронског прекидача може се видети на слици 109, где је формирана следећа шема: са генератора једносмерног напона исти се води на потенциометар преко кога се регулише вредност напона. Са излазног контакта потенциометра напон се преноси до улазног контакта бафера, а одатле се сигнал даље води на улаз електричног појачавача. Напон на улазу у бафер и напон на улазу у

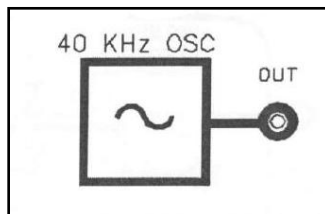
електрични прекидач је исти и то је напон чија се вредност регулише на потенциометру. Са излаза електричног појачавача сигнал се одводи на један од контаката лампе. Други контакт лампе повезан је на извор од 15V. Када је улазни напон на електрични прекидач мањи од 4.8V, прекидач је отворен и лампа светли јер је повезана једним крајем на извор од 15V а преко отвореног прекидача на уземљење. Када улазни напон достигне вредност од 4.8V долази до изражаја праг провођења и тада се прекидач затвара и гаси се лампа. Ово је само једна од многих могућих примена електронског прекидача.



Слика 109. Приказ могућности примене електронског прекидача

4.3.4. Осцилатор фреквенције осциловања од 40 kHz, "40 kHz Oscillator"

Овај осцилатор је већ помињан код исправљача таласа и његов симбол је дат на слици 110.



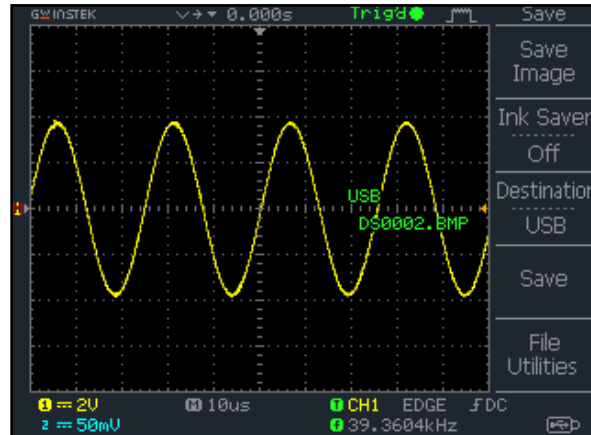
Слика 110. Симбол осцилаторног кола

На слици 110. може се приметити да овај елемент има само један контакт, и то је излазни контакт. Напаја се преко заједничког напајања елемента DL2312HG. На свом излазу даје напон синусног облика фреквенције која износи приближно 40 kHz. Првенствено је намењен за заједнички рад са одређеним АС елементима који се налазе у оквиру DL2312HG. Карактеристике које је дао произвођач за овај елемент могу се наћи у оквиру табеле 12.

Излазна фреквенција	40 kHz
Амплитуда излазног сигнала	$V_{pp}=6V$
Излазна импеданса	1.1k Ω

Табела 12 Карактеристике елемента дате од стране произвођача

Снимање карактеристике елемента се изводи уз помоћ осцилоскопа тако што се излазни сигнал са елемента одводи на један од улазних канала осцилоскопа. Резултати мерења су приказани на слици 111.



Слика 111. Приказ излазног сигнала са осцилаторског кола

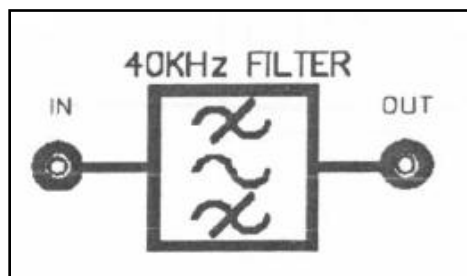
Добијени резултати показују да постоји мало одступање од датих карактеристика. Фреквенција осциловања износи 39.36 kHz а амплитуда износи $V_{pp}=7.36V$.

4.3.5. Филтри, "Filters"

Филтри су елементи који омогућавају пролаз неких сигнала док неке одбацују. Принципи по којима филтри могу да раде су различити, али ипак најчешће примењивани филтри су они који раде одбацивање на основу фреквенције сигнала. У оквиру система DL2312HG дата су два филтра:

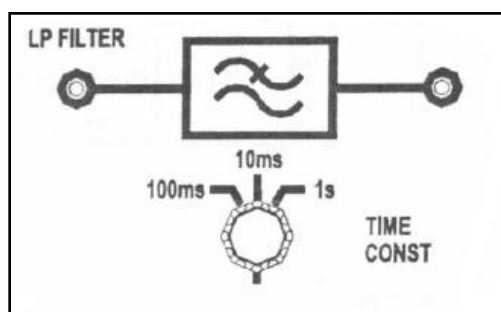
1. Појасно пропусни филтар, који пропушта сигнале чије су фреквенције у уском подручју око назначене, пројектоване, фреквенције филтера. У оквиру DL2312HG налази се филтар пропусности сигнала у малом опсегу око 40 kHz.
2. Ниско пропусни филтар, који пропушта све сигнале чија је фреквенција испод фреквенције која је назначена на филтру.

Симбол појасно пропусног филтра је дат на слици 112.



Слика 112. Симбол појасно пропусног филтра

Са приказа симбола појасно пропусног филтра уочава се да поседује два контакта, један улазни и један излазни контакт. На улазни контакт се доводи сигнал који се подвргава филтрацији, а на излазном контакту се добија филтриран сигнал. Улазне и излазне сигнале треба мерити путем осцилоскопа. Могу се мерити истовремено, коришћењем оба канала, а могу се мерити и појединачно. На слици 113. је приказан симбол ниско пропусног филтра датог уз DL2312HG.



Слика 113. Симбол ниско пропусног филтера

На шеми ниско пропусног филтра види се да поседује два контакта, улазни и излазни контакт. Такође се види и тропозициони прекидач којим се регулише временска константа. Вредности временских константи могу бити: 1s, 10ms, 100ms. Карактеристике ових ових филтера дате од стране произвођача могу се видети у табели 12.

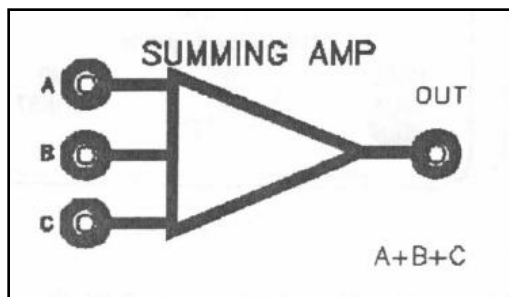
40 kHz Филтар	Централана фреквенција	40 kHz
	Улазна импеданса	10 k Ω
	Излазна импеданса	10 k Ω
Ниско пропусни филтар	Улазни напон	12V max
	Временске константе	10ms; 100ms; 1s
	Граничне фреквенције	0.14 Hz; 15 Hz; 1.44 kHz
	Импеданса	1M Ω

Табела 12. Карактеристике елемента дате од стране произвођача

4.4.Кола са функцијама математичких операција

4.4.1. Сабирач, "Summing Amplifier"

Симбол кола за сабирање дат је на слици 114.



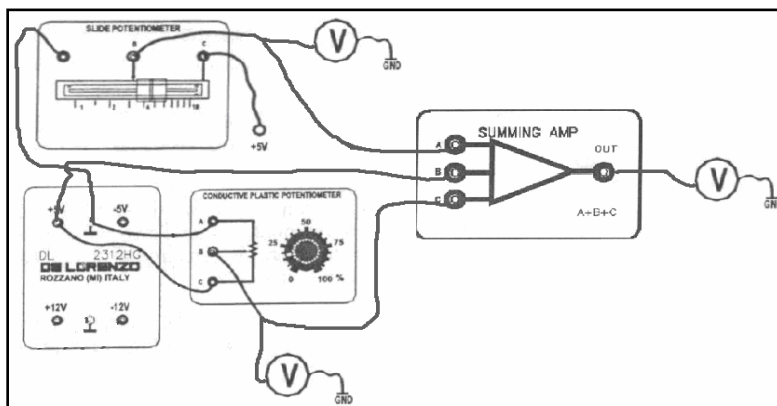
Слика 114. Симбол сабирачког кола

Сабирачко коло има три улаза: А, В, С и један излаз који представља алгебарски збир сигнала на ова три улаза. Максимална вредност напона излазног сигнала износи 10V што значи да алгебарски збир улазних сигнала не би требао да пређе ту вредност ако је циљ добити тачан збир. Остале карактеристике овог елемента могу се наћи у табели 13.

Улазни напон	12V max
Појачање кола	1
Излазни напон	$V_A + V_B + V_C = 10V \text{ max}$

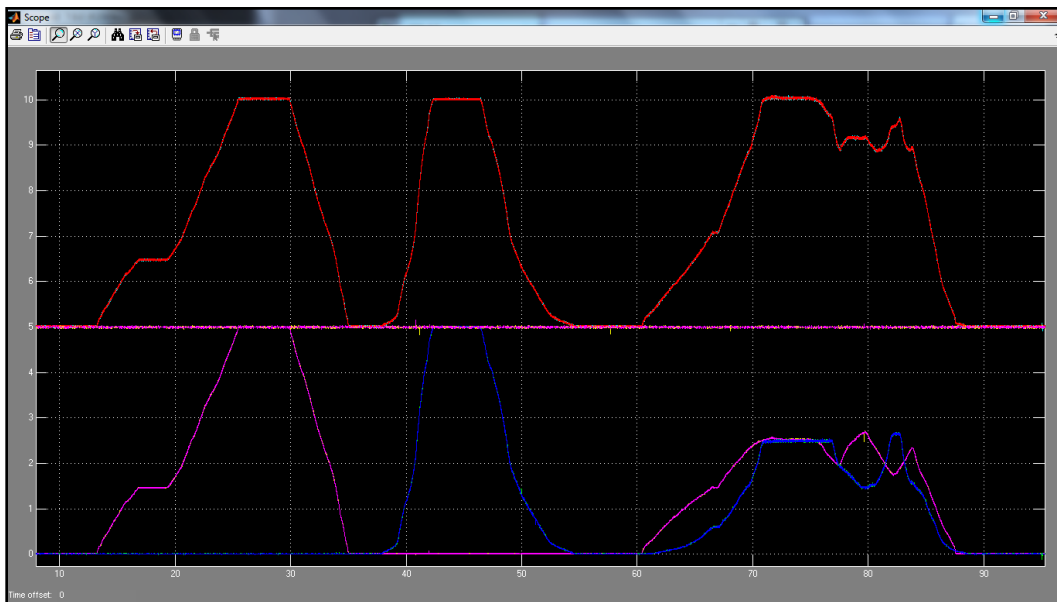
Табела 13. Карактеристике сабирачког кола

Функција сабирача је једноставна, и да би се показала није неопходно формирати сложено коло. Коло, коришћено за показивање функције и принципа мерења, показано је на слици 115.



Слика 115. Шема повезивања сабирача са три извора сигнала и мерним инструментима

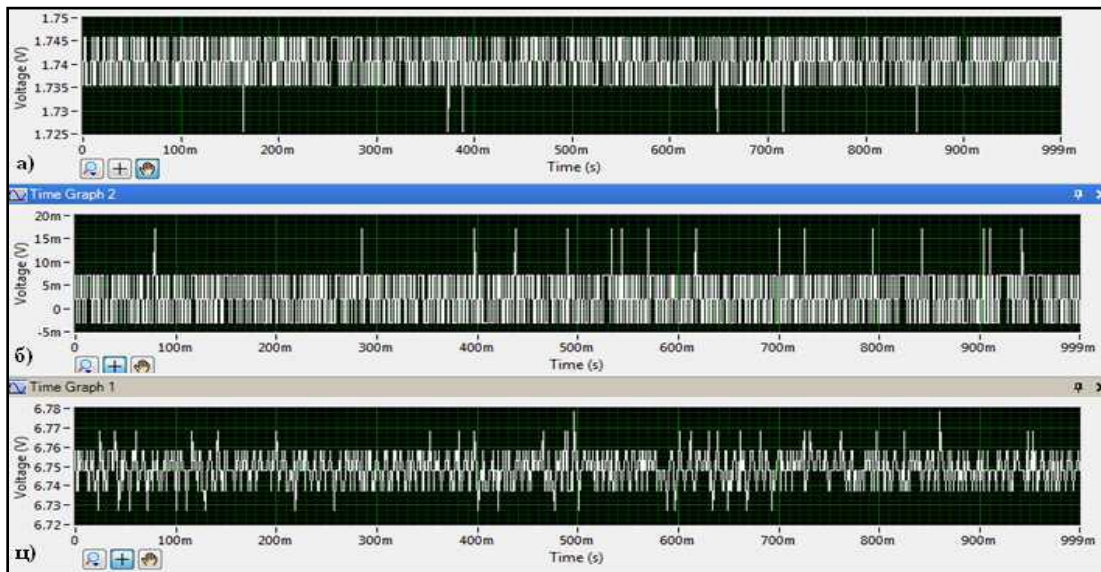
За потребе приказа карактеристика сабирача коришћена су три извора сигнала. Први сигнал који се доводи јесте константан сигнал од 5V и он се доводи директно са извора једносмерног напона на контакт В. Друга два сигнала се доводе са потенциометара да би се остварила могућност њиховог мењања и тиме праћење рада сабирача. У овом случају мере се 4 сигнала. NI6008 поседује могућност мерења 4 сигнала истовремено па се мерење извршило помоћу ње. Потребно је сва четири сигнала довести на AI+ терминале NI6008 картице и обезбедити уземљење за одговарајуће GND терминале. При повезивању је потребно водити рачуна у распореду повезивања, да не би дошло до грешака при читавању сигнала услед забуне. На слици 116. су приказани резултати мерења сигнала.



Слика 116. Приказ улазних и излазног сигнала сабирача

Љубичаст сигнал представља улазни сигнал на контакту А који потиче са потенциометра, плави сигнал представља улазни сигнал на контакту С који потиче са логаритамског потенциометра, сигнал представљен розе бојом долази директно са генератора једносмерног напона и износи константних 5V током целог временског периода посматрања. Излазни сигнал је представљен црвеном бојом. Сви улазни сигнали су ограничени на максимално 5V да би се избегао улаз у засићење на излазу из сабирача. Оно шта се може закључити посматрањем графика на слици 116. јесте да сабирач идеално ради и да у сваком тренутку излазни сигнал представља алгебарски збир улазних сигнала. Праћење међусобног односа улазних и излазног сигнала може се вршити и уз помоћ "LabView"-а. Како изгледа снимање сигнала сабирача у "LabView"-у дато је на слици 117. Сигнал означен са а) представља улазни сигнал са кружног потенциометра, сигнал б) представља сигнал са логаритамског потенциометра а сигнал ц) представља излазни сигнал. Трећи улазни сигнал је константан и у овом случају и износи 5V. И овим путем се

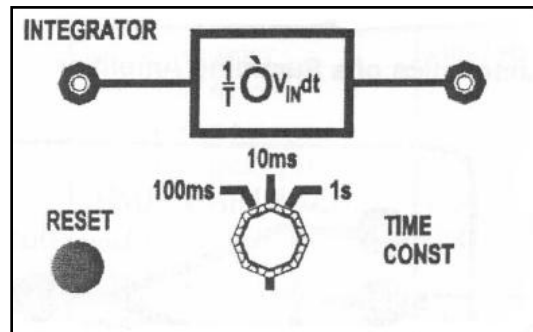
закључује да сабирач има идеалну карактеристику, јер је збир три улазна напона једнак излазном напону.



Слика 117. Паралелни приказ улазних и излазних сигнала сабирача

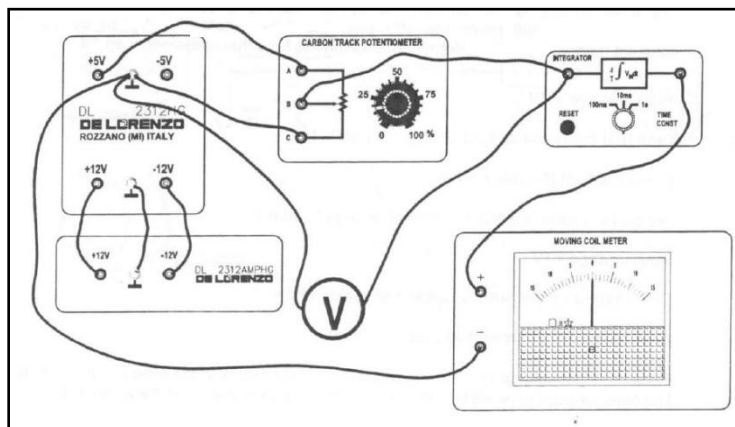
4.4.2. Интегратор, "Integrator"

Симбол интегратора дат је на слици 118.



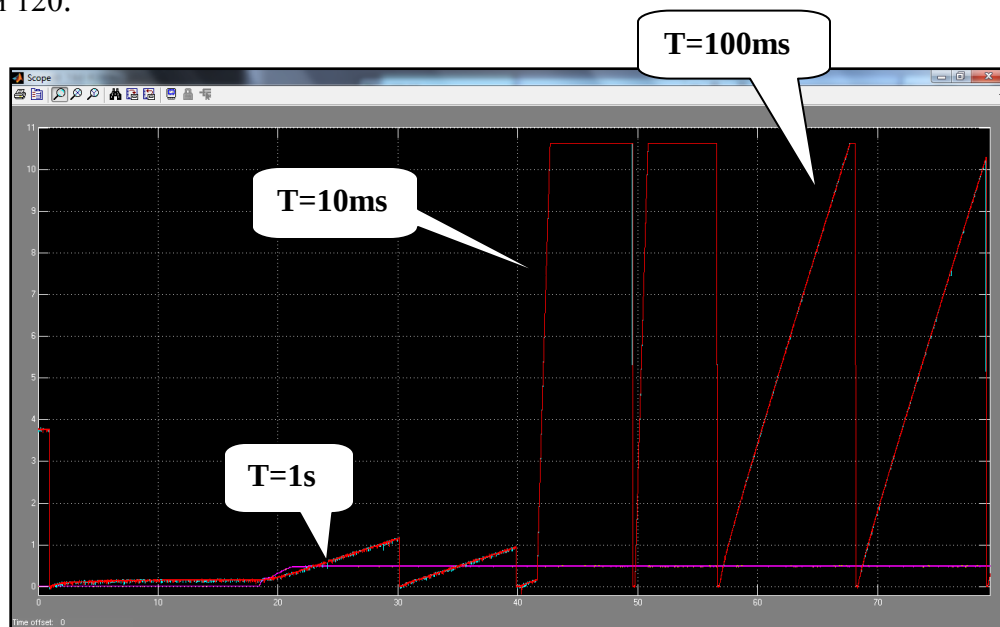
Слика 118. Симбол интегратора

Посматрањем слике 118. види се да се интегратор поседује један улазни контакт и један излазни контакт. Поред тога у састав интегратора улази тропозициони прекидач којим се одређује временска константа, и ресет дугме путем кога се интеграција сигнала враћа у почетни тренутак. Праћење сигнала са овог елемента је јако једноставно и могуће је користити NI6008. Шема која показује како је могуће повезати интегратор у коло и затим мерити његове карактеристике дата је на слици 119.



Слика 119. Шема повезивања интегратора у коло и мерење његових сигнала

Прво што се запажа на шеми са слике 119. јесте то да се користио аналогни мерач са уређаја DL2312HG. Разлог тога јесте да се покаже да је могуће и тако нешто извести. Ипак мерење је извршено уз помоћ NI6008 картице и мерила су се два сигнала. Први сигнал који се мерио јесте улазни сигнал у интегратор који се добија са потенциометра. Други сигнал који се мерио је излазни сигнал из интегратора. Приказ мерења ових сигнала дат је на слици 120.



Слика 120. Зависност нагиба излазног сигнала од избора временске константе

Процес мерења је текао тако што у почетном тренутку није постојао улазни напон у интегратор. Након тога довео се улазни напон (љубичасти сигнал) од 0.5V који је затим био константан током целог мерења, једина променљива је била временска константа јер је циљ био показати њен утицај на карактеристику излазног сигнала (црвени сигнал) интегратора. На слици 120. су обележене вредности временских константи које одговарају одређеним нагибима праве. Ако се узме у обзир једначина којом се описује утицај

интеграторског кола, једначина (4), види се да што је временска константа мања то је бржи пораст излазног напона.

$$U_{iz} = \frac{1}{T} \int U_{ul} dt \quad (4)$$

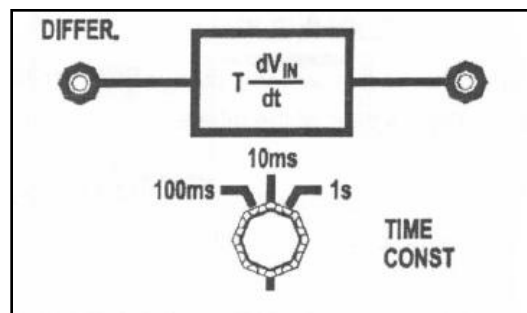
На основу приказаног намеће се напомена да је потребно водити рачуна о повезивању овог елемента са осталим елементима јер врло лако може доћи до тога да се на излазу из интегратора добије напон засићења а на жељени напон. Због тога је посебно битно обратити пажњу на вредност улазног напона и још важније на избор временске константе да би се избегао проблем. Карактеристике интегратора дате од стране произвођача дате су у табели 14.

Временске константе	1s; 100ms; 10ms;
Излазна импеданса	100 kΩ
Излазни напон	11 V
Грешка	1%

Табела 14 Карактеристике интегратора дате од произвођача

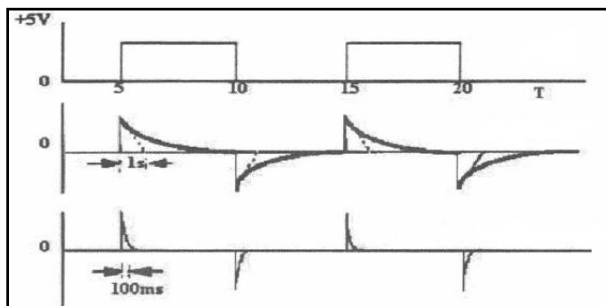
4.4.3. Диференцијатор, "Differentiator"

Симбол диференцијатора је дат на слици 121.



Слика 121. Симбол диференцијатора

Диференцијатор који долази као стандардни елемент уређаја DL2312HG има један улазни контакт и један излазни контакт. Излазни сигнал са диференцијатора пропорционалан је изводу улазног сигнала по времену. Као и код интегратора постоји тропозициони прекидач којим се дефинише временска константа која има велики утицај на карактеристику излазног сигнала. Постоје три вредности временских константи које се могу изабрати: 1s, 100ms, 10ms. Утицај избора временске константе на излазни сигнал је дат на слици 122.



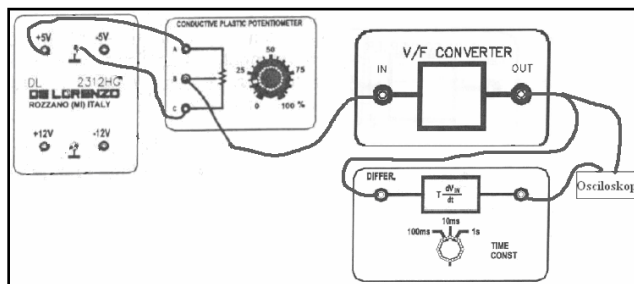
Слика 122. Утицај избора временске константе диференцијатора

Са слике 122. се види да је улазни сигнал правоугаоног облика. Када је улазни сигнал константан током одређеног временског периода излазни сигнал опада експоненцијално, а брзина опадања вредности излазног сигнала зависи од временске константе. Са смањењем временске константе расте брзина опадања сигнала. Време потребно да константан сигнал опадне на нулту вредност је око 5 пута вредности временске константе, то је приказано на слици 122. Употреба овог елемента за диференцирање због особина елемента, може бити у колима за корекцију пулсева, тако што ће низ правоугаоних сигнала претварати у низ пулсева (слика 122). Карактеристике дате од стране произвођача су дате у табели 15.

Улазни напон	12V max
Вредност промене улазног напона ($T'=10\text{ms}$)	10V/ms
Засићење излазног напона	11V
Шум излазног напона	50mV

Табела 15. Карактеристике диференцијатора дате од стране произвођача

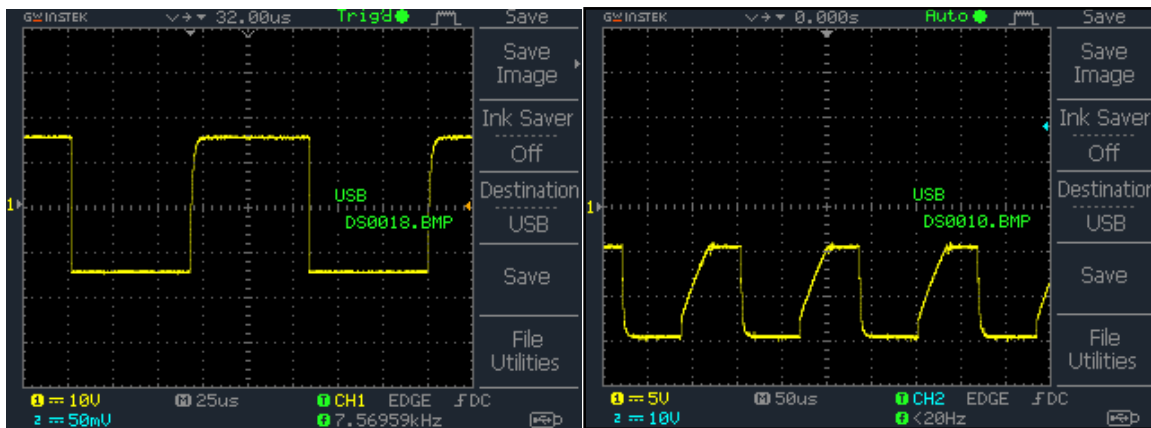
Постоји много различитих начина примене овог кола и у овом раду ће бити предочено пар њих. Први пример је када се на улаз диференцијатора доводи напон правоугаоног облика који се добија на V/F конвертору. Шема за овај случај је дата на слици 123.



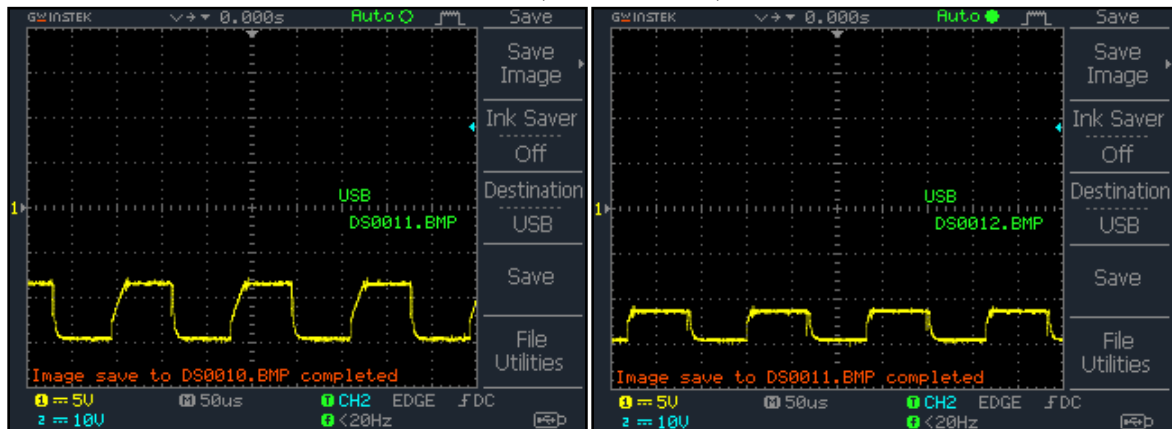
Слика 123. Први пример примене диференцијатора.

У првом примеру диференцијатора коло је тако осмишљено да се са генератора једносмерног напона исти одводи на потенциометар да би се створила могућност управљања његовом вредношћу. Са излазног контакта потенциометра напонски сигнал се

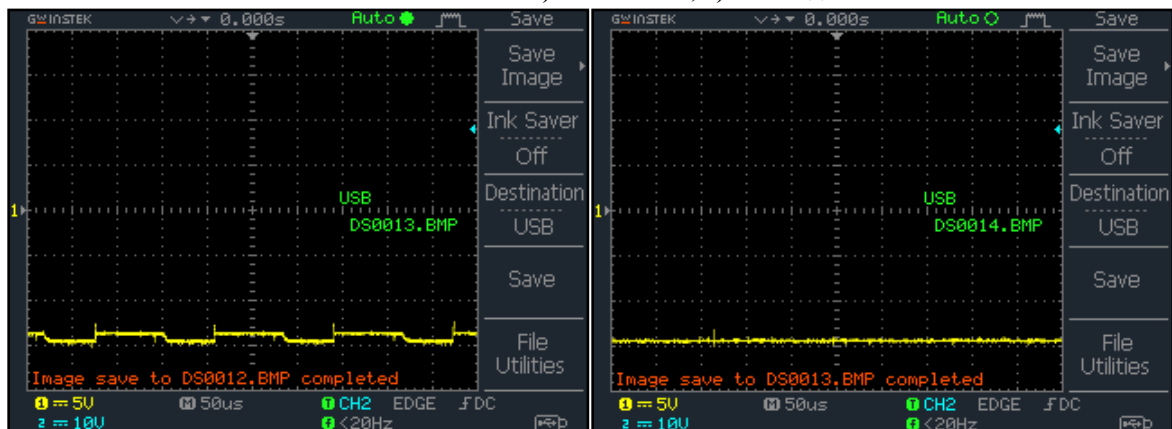
води на V/I конвертер где се претвара у напонски сигнал правоугаоног облика. Тако добијени сигнал се затим одводио на диференцијатор. Оно шта се десило је било неочекивано и биће разматрано у следећим радовима. Наиме, излазни сигнал из V/F конвертора (улазни у диференцијатор) је у почетном тренутку био деформисан у односу на то када се не повеже на диференцијатор да би се током времена још више деформисао и на крају у потпуности нестао. Тај процес је представљен на следећим сликама.



Слика 124. а) слика лево, б) слика десно

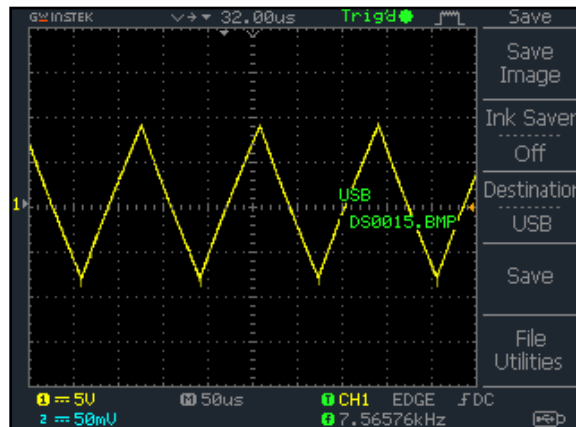


Слика 125. а) слика лево, б) слика десно



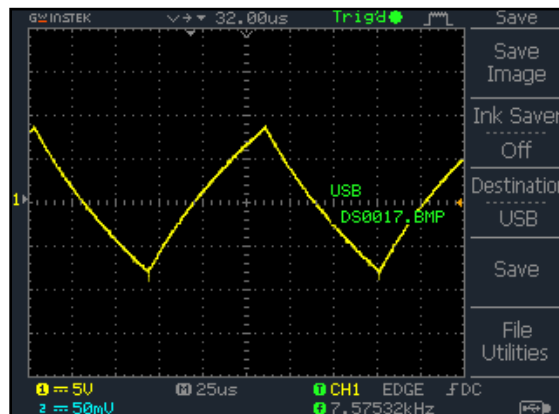
Слика 126. а) слика лево, б) слика десно

На слици 124 а) се види излазни сигнал из V/F конвертора пре него што се излаз из конвертора конектује на улаз у диференцијално коло, а на слици 124. б) је сигнал у почетном тренутку када се излаз V/F конвертора повеже са улазом диференцијатора. Одмах се уочава да постоје деформације. Током времена оптерећења која се јављају постепено али у потпуности гуше сигнал па се добија сигнал који изгледа као на слици 126. б). Ако се сада посматрају излазни сигнали добијају се следећи прикази за сваку временску константу посебно. У случају када је временска константа подешена на 1s, добија се излазни сигнал као на слици 127.



Слика 127. Изглед излазног сигнала из диференцијатора када је временска константа 1s

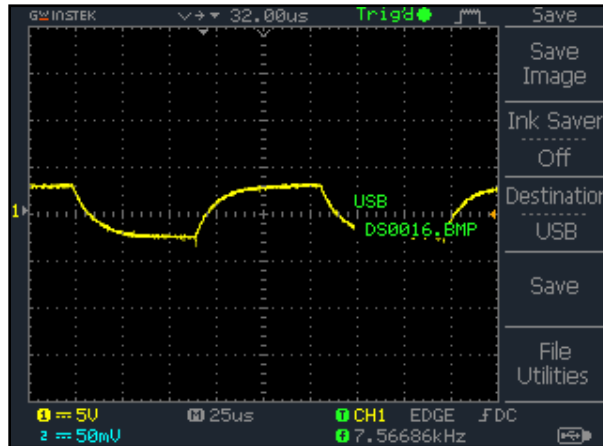
Добијени сигнал у овом случају има троугаони облик и исту фреквенцију као и улазни сигнал. Изглед овог сигнала је последица релативно велике временске константе и велике фреквенције улазног сигнала која узрокује честе нагле промене излазног сигнала па сигнал не стигне да падне на нулту вредност. На слици 128. је представљен излазни сигнал из диференцијатора када је временска константа једнака 100ms.



Слика 128. Изглед излазног сигнала из диференцијатора када је временска константа 100ms

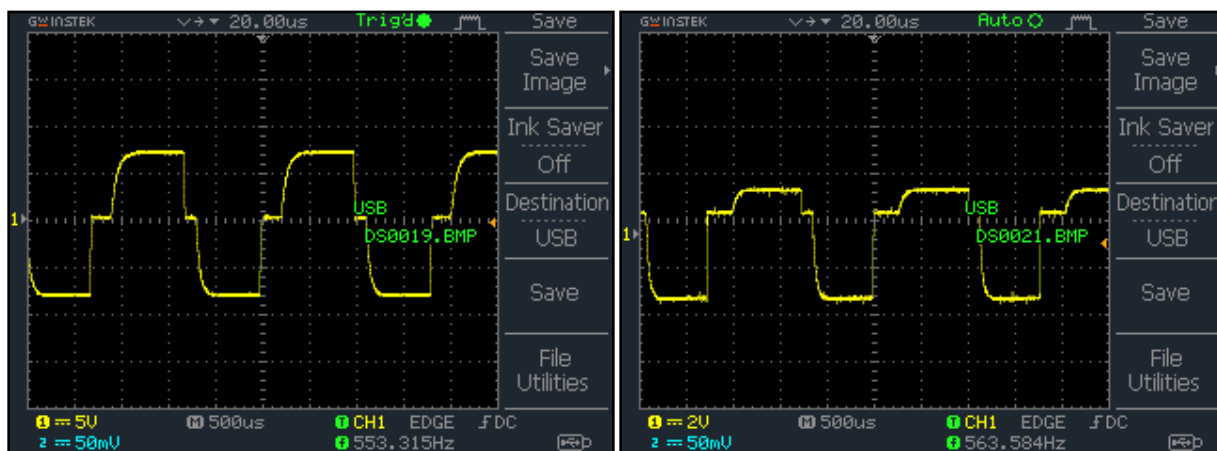
Када је временска константа 100ms и када се сигнал за ту временску константу упореди са сигналом када је временска константа 1s види се појава заобљења троугаоних

сигнала. То је последица мање временске константе. А када се ови сигнали упореде са излазним сигналом диференцијатора за временску константу од 10ms (најмању временску константу од три понуђене) види се још драстичнији утицај временске константе. Излазни сигнал за временску константу од 10ms је дат на слици 129.



Слика 129. Изглед излазног сигнала из диференцијатора када је временска константа 10ms

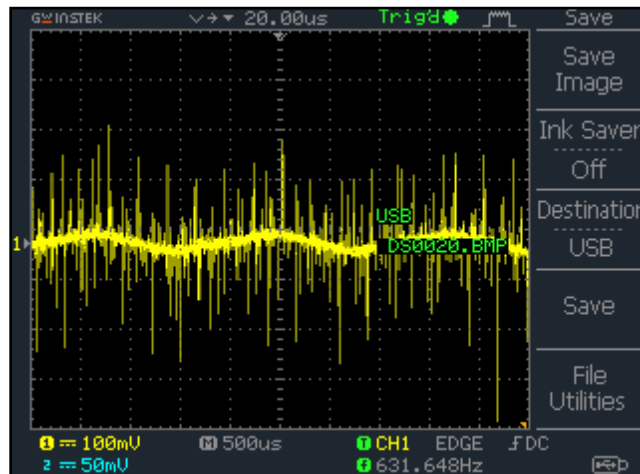
Други пример како се може представити рад диференцијатора јесте да се за улазни сигнал користи аларм осцилатор уместо V/F конвертора. Аларм осцилатор је већ објашњен и познат је његов излазни сигнал. При посматрању сигнала у другом примеру коришћен је исто осцилоскоп као идеалан инструмент за снимање ове врсте сигнала. Суштина замене извора сигнала који се доводи на улаз диференцијатора јесте да покаже утицај диференцијатора на сигнале који се доводе на његов улаз. Након спајања излазног контакта осцилоскопа и улазног контакта диференцијатора улазни контакт у диференцијатору изгледа као на следећим сликама у зависности од временске константе.



Слика 130 а) слика лево, временска константа 1s; б) слика десно, временска константа је 100ms

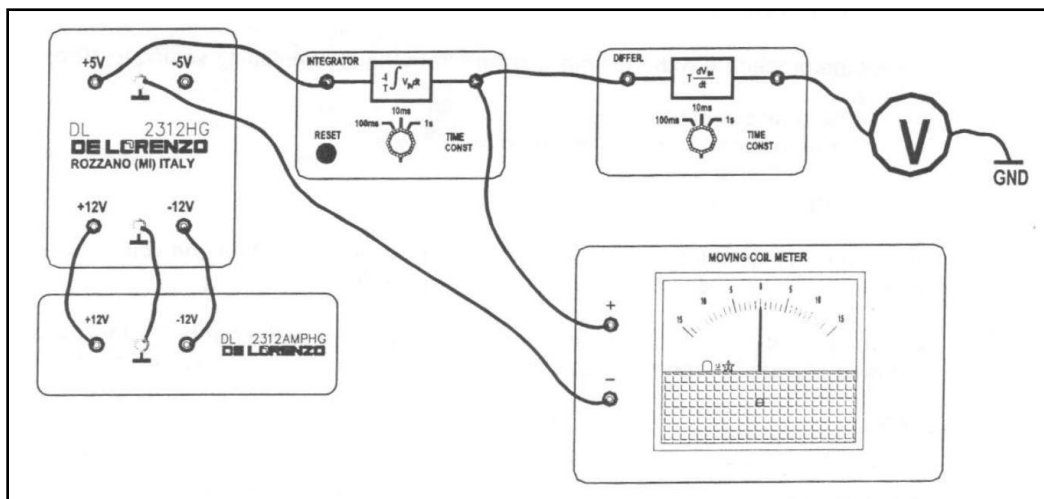
Оно што се може приметити јесте да се са смањењем временске константе улазни сигнал у диференцијатор све више деформише, и као пример тога је дат сигнал на слици

131. који представља деформацију улазног сигнала у диференцијатор (излазни сигнал из аларм осцилатора) када је временска константа најмања од три могуће и износи 10ms.



Слика 131. Деформација улазног сигнала диференцијатора када је временска константа 10ms

Оба ова случаја показују да диференцијатор као елемент утиче на излазне сигнале других елемената поред тога што диференциране сигнале шаље на излазне контакте. Трећи пример практичне употребе диференцијатора дат је на слици 132.



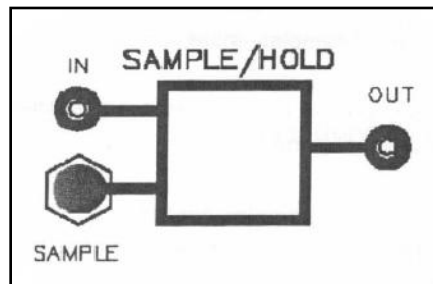
Слика 132. Трећи пример примене диференцијатора

Коло се састоји од интегратора, диференцијатора, мерних инструмената и генератора једносмерног напона. На интегратор се доводи једносмерни напон од 5V и подеси се да је временска константа 1s. Излаз са интегратора се затим води на диференцијатор и на њему се такође подеси да је временска константа једнака 1s. Преко аналогног мерача (може се користити и NI6008 картица) се прати промена излазног напона из интегратора. Када се укључи коло на извор напајања потребно је притиснути "reset" прекидач да би се интегратор вратио у нулти положај. Након тога се могу пратити

сигнали. Излазни напон са интегратора ће се мењати брзином од 1V/s током 10s , и током овог периода излаз из диференцијатора ће бити 5V . Када излазни напон из интегратора достигне засићење излазни напон из диференцијатора ће пасти на нулу. Овај пример је још један од примера где се јасно види принцип рада диференцијатора. Мерење сигнала са његових улазних и излазних контаката је описано кроз ова три примера.

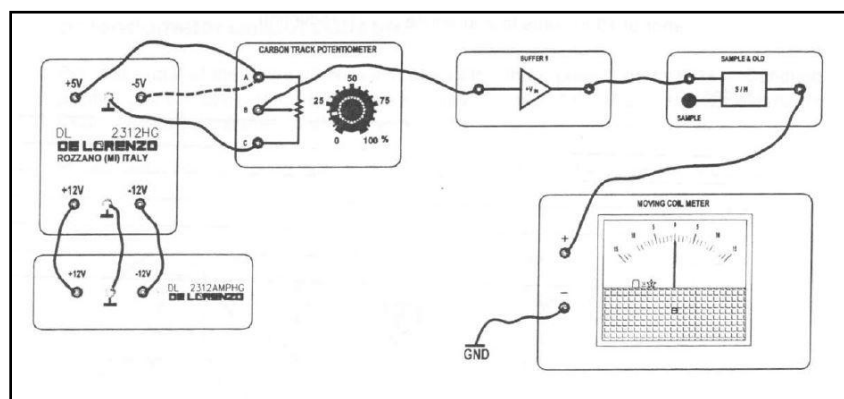
4.4.4. Коло за узорковање сигнала, "Sample and Hold Circuit"

Симбол кола за узорковање сигнала је дат на слици 133.



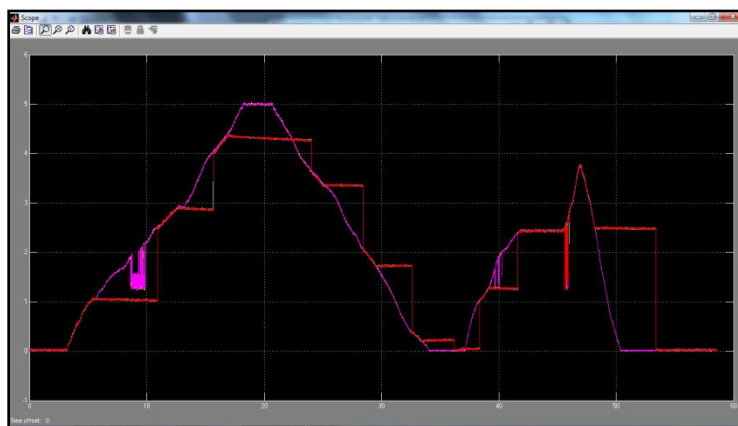
Слика 133. Симбол кола за узорковање сигнала

Коло за узорковање се састоји од улазног контакта, излазног контакта и прекидача за узорковање сигнала. Ово коло је намењено за узорковање сигнала тако што се све време посматра улазни сигнал и док није притиснут sample прекидач излазни сигнал и улазни сигнал су исти, оног тренутка када се притисне sample прекидач излаз задржава вредност коју је улазни сигнал имао у тренутку када је прекидач притиснут. Након пуштања прекидача излазни сигнал поново добија вредност улазног сигнала. Сада ће бити практично показано како елемент функционише. За показни пример рада елемента узета је шема са слике 134.



Слика 134. Шема повезивања кола за узорковање са осталим елементима

Шема на слици 134. показује да се за извор напајања користи генератор једносмерног напона, и са њега се напон одводи на крајеве потенциометра да би се омогућила једноставна промена напона. Са излазног контакта потенциометра напон се одводи на бафер јер он има ниску излазну импедансу а пожељно је да се на улазни контакт елемента за узорковање доводи такав сигнал. Дакле са излазног контакта бафера сигнал се доводи на улаз у елемент за узорковање. Да би се приказао рад елемента за узорковање потребно је снимати карактеристике његовог улазног сигнала његовог излазног сигнала. За потребе снимања сигнала коришћена је NI6008 картица, где су улазни и излазни сигнал одведени на AI+ терминале и ту су одговарајући GND терминали повезени са уземљењем уређаја DL2312HG. Снимане карактеристике улазног и излазног сигнала приказане су на слици 135.



Слика 135. Паралелни приказ улазног и излазног сигнала елемента за узорковање

Љубичасти сигнал репрезентује улазни сигнал у елемент, а црвени сигнал репрезентује излазни сигнал. Јасно се види да док није притиснут "sample" прекидач улазни и излазни сигнал имају идентичне вредности, а да када се притисне "sample" прекидач излазни сигнал задржава вредност улазног сигнала у тренутку када је прекидач притиснут. Овим се потврђује теоријско објашњење овог елемента. Остале карактеристике дате од стране произвођача могу се наћи у табели 16.

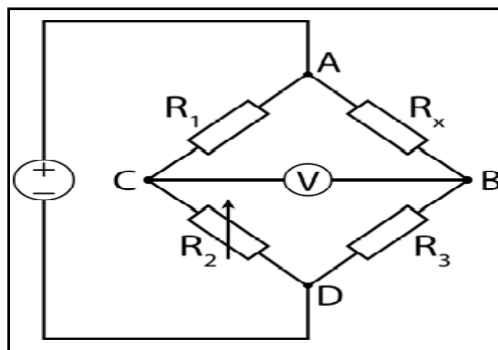
Улазни напон	12V max
Улзна временска константа	10s
Вредност инлинације (опадања) напона	10mV/min

Табела 16. Карактеристике елемента за узорковање дате од стране произвођача

4.5. Отпорнички елементи

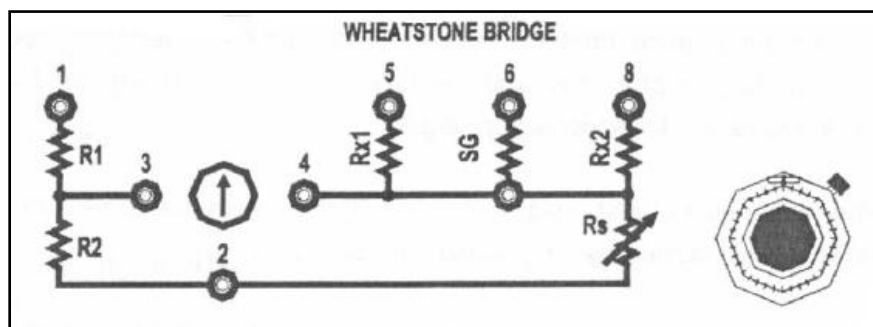
4.5.1. Вистонов мост, "Wheatstone Bridge Circuit"

Шема Вистоновог моста дата је на слици 136.



Слика 136. Шема Вистоновог моста

Вистонов мост се користи за мерење електричне отпорности и преко ње величина које та електрична отпорност карактерише (деформација). У колу са слике 136. R_x је непознате отпорности и његова отпорност се мери. R_1 , R_2 , R_3 , су отпорници познатих отпорности, а при томе R_2 отпорник је променљиве вредности. Ако је однос две отпорности у познатој грани (R_2/R_1) једнак односу отпорности у непознатој грани (R_x/R_3) онда је напон између чвора једнак и струја неће да протиче између чворова. R_2 се мења све док се не постигне овај услов. Смер струје показује да ли је потребно повећавати или смањивати R_2 . Детектовање равнотеже се може урадити обичним галванометром за једносмерне струје или вибрационим галванометром за наизменичне струје. Сврха Вистоновог моста је да обезбеди велику прецизност при мерењу отпорности (јер је преко те отпорности углавно представљен вредноаст неке друге величине), а то је у стању да уради јер и најмање одступање од равнотеже два односа доводи до појаве струје између чворова. Симбол Вистоновог моста датог уз DL2312HG уређај, може се видети на слици 137.

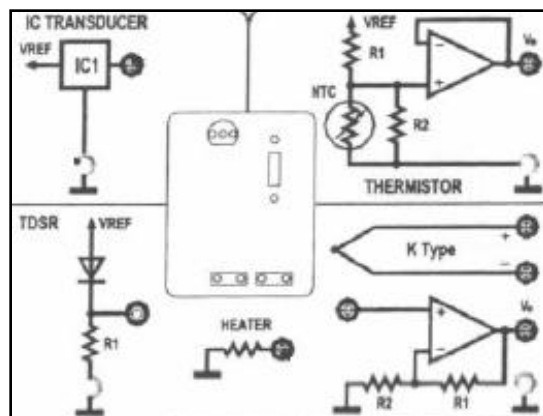


Слика 137. Симбол Вистоновог моста на уређају DL2312HG

Отпорници R_1 и R_2 су фиксних отпорности по $1k\Omega$. R_s је променљиви отпорник који има вредности од 0 до $1k\Omega$. Овај променљиви потенциометар велику поделу ради могућности налажења тачно оне отпорности које је непознати отпорник. Састоји се од два прстена путем којих је добијена подела. Унутрашњи прстен има 100 подела на по 1Ω . А спољашњи прстен има 10 подела на по 100Ω . Када се саберу вредности са ова два прстена добија се тренутна вредност отпорности на променљивом отпорнику. Измерене вредности отпорника R_{x1} и R_{x2} износе 560Ω и 12Ω редом. Да би се вршило мерење прво је неопходно да се доведе напајање. Да ли струја постоји или не мери се између контаката 3 и 4. Све док струја постоји потребно је вршити калибрацију на променљивом отпорнику и тражити одговарајућу вредност отпорности непознатог отпорника. Шеме повезивања Вистоновог моста са осталим елементима биће дате при разматрању мерења сигнала са тих елемената и тада ће бити више речи о томе.

4.6. Елементи укључени у мерење температуре

У оквиру уређаја DL2312HG постоји посебан модул који је намењен за мерење температуре. У средини тог модула налази се грејач који служи да греје елементе и тиме ствара променљиве услове који су неопходни да би праћење температуре било динамичније и да би могао да се испита цео опсег сензора за температуру. Симбол модула у коме су укључени сензори температуре дат је на слици 138.



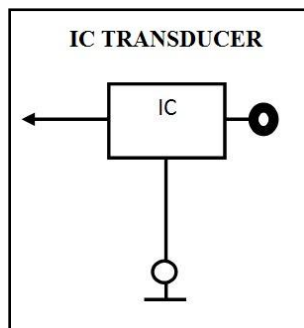
Слика 138. Модул са температурским сензорима у чијем центру се налази грејач

Са слике 138. се види које све врсте сензора постоје, то су:

1. IC претварач
2. NTC термистор
3. Термопар
4. Диода

4.6.1. IC претварач, "LM 35 Integrated Circuit"

Симбол IC претварача коришћеног у оквиру оквиру DL2312HG уређаја дат је на слици 139.

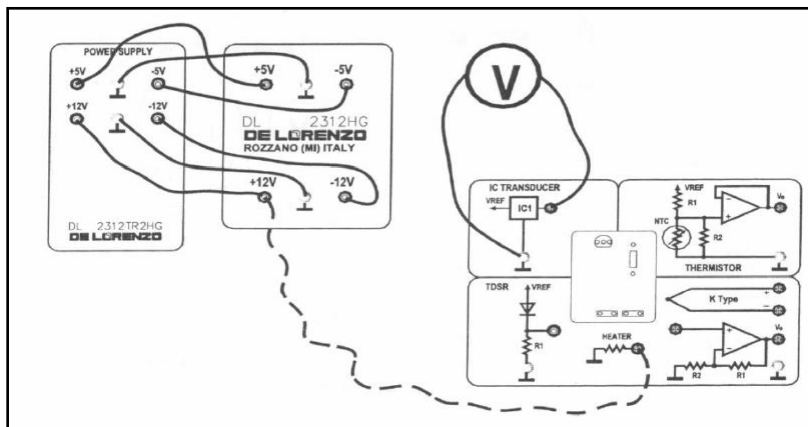


Слика 139. Симбол ІС претвараचा

Овај мерач температуре је крајње једноставан за употребу и веома прецизан што се мерења тиче. Једноставност мерења се огледа у томе да је само потребно измерити његов напон на излазном контакту и вредност тог напона помножити са 100 и добија се вредност температуре у °C. Јадначина којом је овај поступак описан је једначина (5).

$$T[^\circ\text{C}] = U_{iz} [V] * 100 [^\circ\text{C}/V]; \quad (5)$$

Преносна карактеристика кола је $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. За показивање принципа рада и принципа мерења сигнала са ИС претварача коришћена је шема са слике 140.



Слика 140. Шема потребна за мерење температуре путем ІС претварача

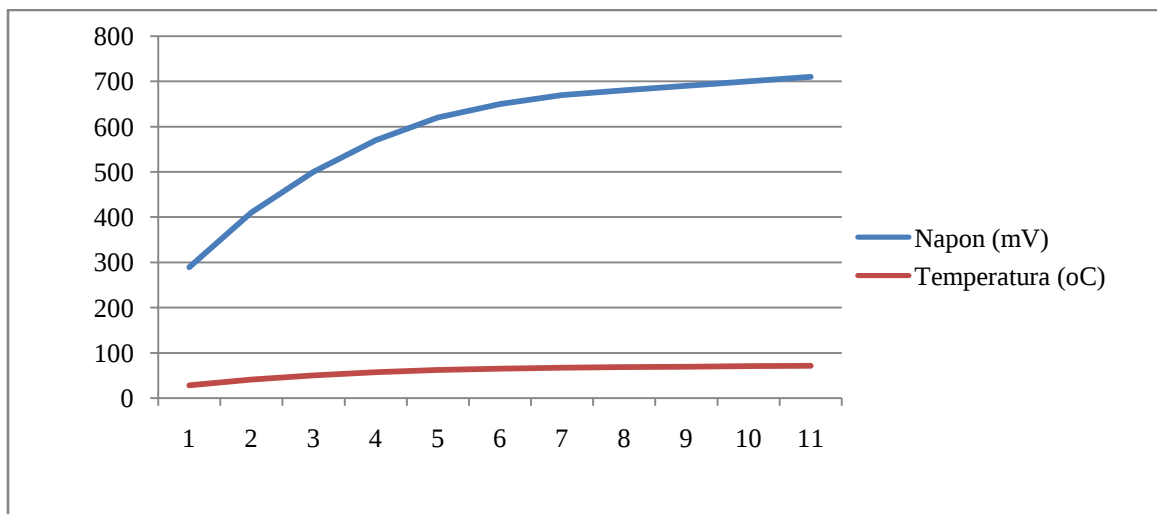
IS претварач неопходно напајање добија путем заједничког напајања за цео модул за мерење температуре. Шема је повезана тако што се прво измери напон на IS претварачу док није упаљен грејач. Тада IS претварач показује собну температуру. Након тога се

укључи грејач и температура околине ИС претварача почиње да расте што се региструје променом излазног напона. Резултати мерења су дати табеларно у табели 17.

Време (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напон (mV)	289	410	500	570	620	650	670	680	690	700	710
Температура (°C)	28.9	41	50	57	62	65	67	68	69	70	71

Табела 17. Промена вредности излазног напон ИС елемента у зависности од температуре

Графички представљена карактеристика се може видети на слици 141.



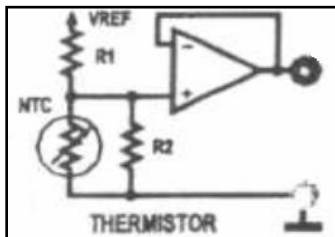
Слика 141. Графички приказ односа температуре и излазног напона

4.6.2. НТЦ термистори, "NTC Thermistor"

НТЦ термистори имају негативан температурски коефицијент отпорности. То значи да са порастом температуре долази до пада њихове отпорности. Користе се у колима где је потребно компензовати пораст отпорности неких других елемената услед повећања температуре. Формула по којој се рачуна отпорност у зависности од температуре је дата у блику формуле (6).

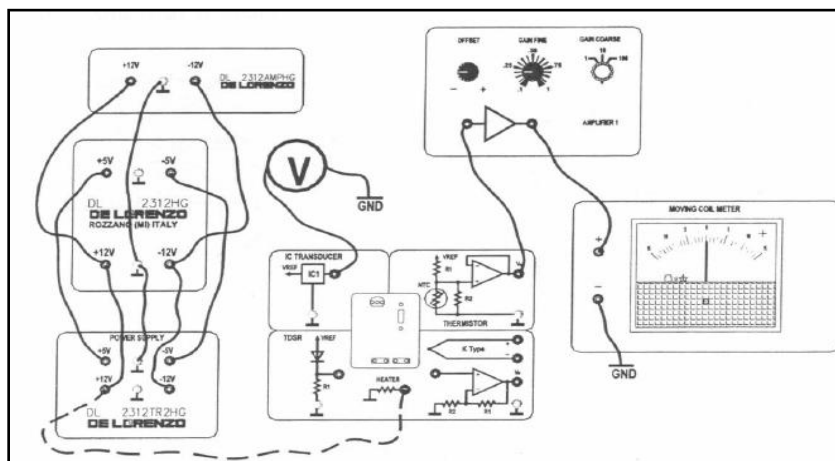
$$R_t = A e^{\frac{B}{T}} \quad (6)$$

Са R_t је представљена отпорност НТЦ термистора у зависности од температуре, са A је представљен коефицијент који зависи од облика отпорника и врсте полупроводничког материјала. B представља енергијску константу а T апсолутну температуру. На слици 142. је представљен симбол НТЦ термистора коришћеног у оквиру уређаја DL2312HG.



Слика 142. Симбол нтц термистора

Мерење температуре путем НТЦ термистора је извршено на основу шеме са слике 143.

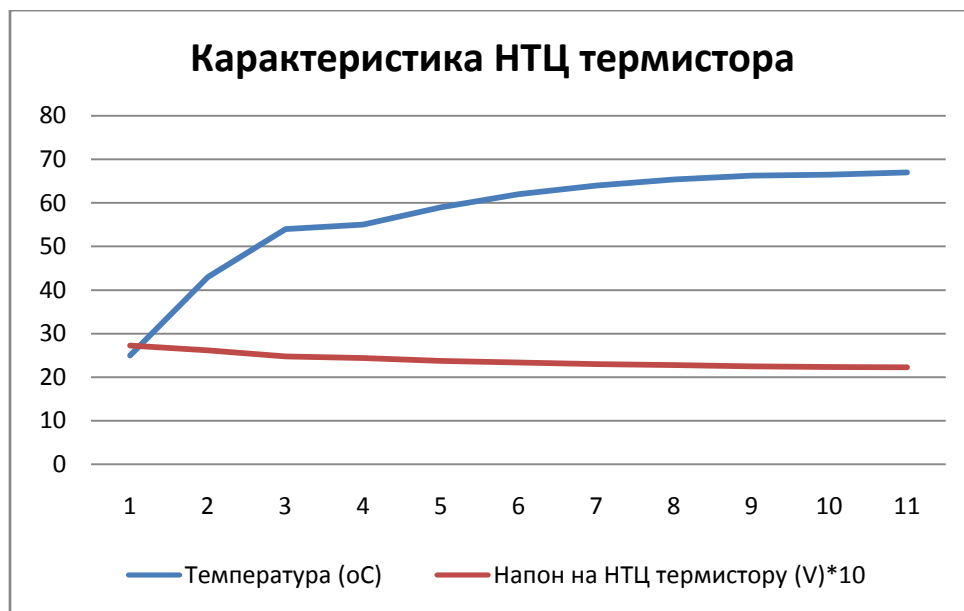


Слика 143. Шема повезивања НТЦ термистора при мерењу температуре

Са слике 143. се види да се мерење врши тако што се излазни напон најпре шаље на појачавач (по потреби) па онда се читава сигнал. У случају мерења, које је примењено, коришћено је јединично појачање јер нема потребе за већим појачањем. Напајање се и у овом случају као и код IC претварача доводи путем заједничког напајања. Температура се прати преко два претварача, преко НТЦ термистора и преко IC претварача јер је његова карактеристика добро позната. На слици 143. се види да је као мерни инструмент дат аналогни мерач, и то је урађено тако да би се показало да се цело коло може реализовати у оквиру уређаја DL2312HG. Исто тако може се мерити и путем NI6008 картице и неког од софтверских пакета, начин таквог мерења је већ више пута помињан и добро је познат. Добијени резултати мерења су приказани у табели 18. и графички на слици 144.

Време (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура (°C)	25	43	54	55	59	62	64	65.4	66.3	66.5	67
Напон на IC претварачу (mV)	250	430	540	550	590	620	640	654	663	665	670
Напон на НТЦ термистору (V)	2.73	2.68	2.48	2.44	2.38	2.34	2.3	2.28	2.25	2.24	2.23

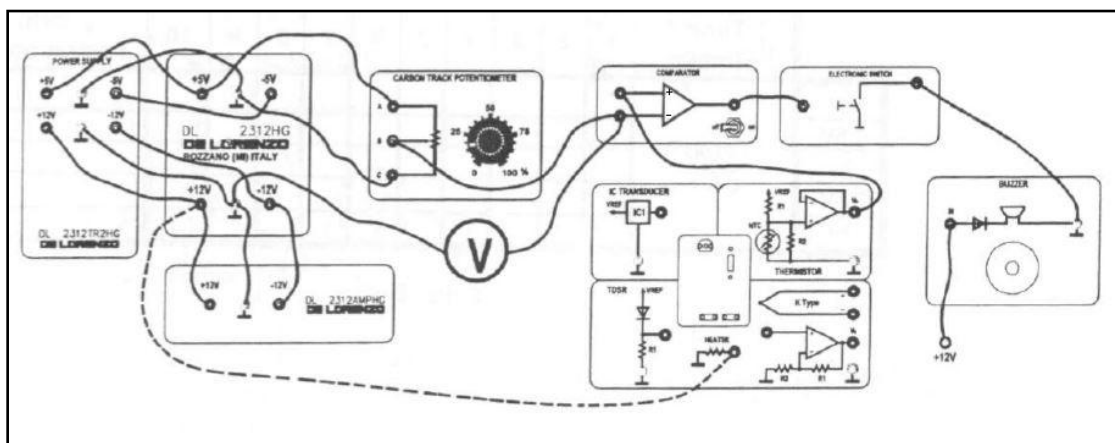
Табела 18. Табеларни приказ резултата мерења



Слика 144. Приказ карактеристике НТЦ термистора

График са слике 144. јасно показује правилан рад НТЦ термистора. Напонски сигнал са НТЦ термистора је скалиран $\times 10$ да би карактеристика била јасније изражена.

Пример употребе НТЦ термистора у неким реалним решењима које је могуће реализовати на DL2312HG уређају дат је на слици 145.



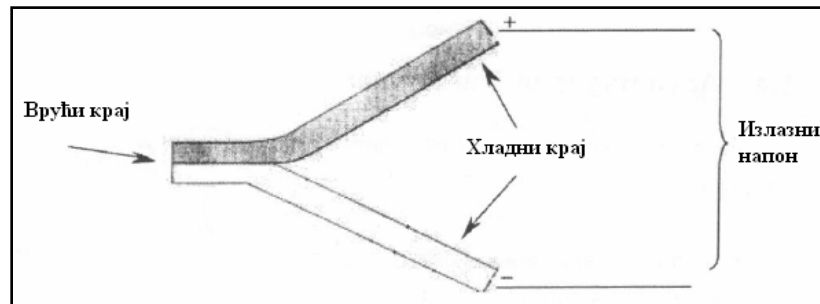
Слика 145. Практичан пример употребе НТЦ термистора

Коло се састоји од потенциометра, компаратора, електронског прекидача, грејача, НТЦ термистора и звучника. Централни елемент је компаратор са хистерезисом. На негативан улазни контакт се доводи напон од 2.5V. На позитиван улазни контакт се доводи излазни напон са НТЦ термистора, који у почетном тренутку износи око 2.7V у зависности од собне температуре. Овим се постиже да на излазу из компаратора постоји

излазни сигнал. Тај излазни сигнал се одводи на улаз електронског прекидача и тада је прекидач затворен и звучни елемент не ради јер је кратко спојен. Временом температура расте јер је укључен грејач. Са порастом температуре опада вредност излазног напона и у тренутку када падне испод $2.5V$ пали се звучни елемент. Ова шема се може користити у колима за упозоравање од прегревања.

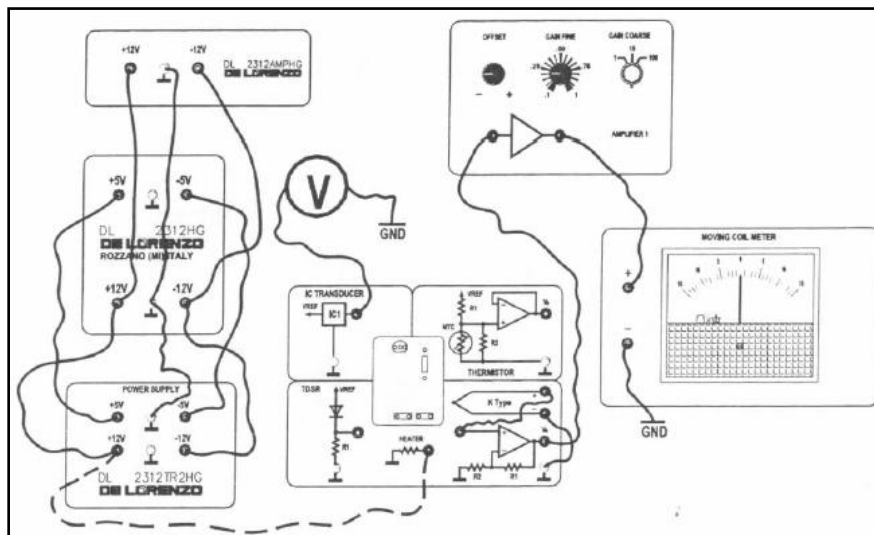
4.6.3. Термопар, "Temperature Thermocouple Thermistor, type K"

Термопар је елемент за мерење температуре. Као што се може наслутити из имена, састоји се од два дела, од два метала различитих коефицијената ширења. Шема конструкције је дата на слици 146.



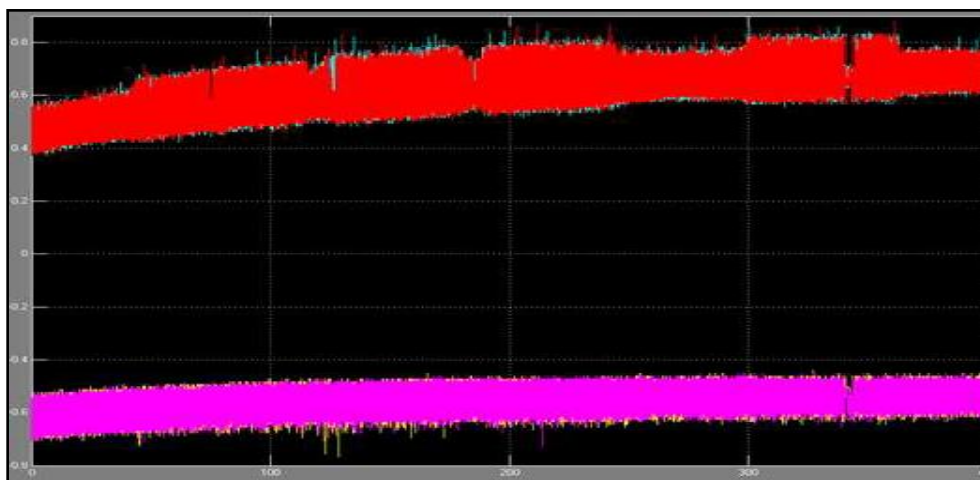
Слика 146. Шема термопара

Принцип рада је такав да када се загрева такозвани врућ крај јавља се излазни напон на хладном крају који је пропорционалан температури која је на врућем крају. У опсегу од $0^{\circ}C$ до $100^{\circ}C$ излаз из термопара је прилично линеаран са преносним односом од $40\mu V/^{\circ}C$. За приказ мерења температуре преко термопара потребно је направити шему као на слици 147.



Слика 147. Начин повезивања при мерењу са термопаром

Као и у претходном случају при мерењу користи се, ради познавања температуре, и ИС претварач због идеалне карактеристике. Излазни сигнал, због мале вредности, мора прво да се одведе на појачавач ($\times 100$) па затим на мерни инструмент. Мерење се потом може вршити и помоћу аналогног мерача и помоћу NI6008 картице. Повезивање излазног сигнала са елемента на NI6008 картицу је исто као и до сада у сваком претходном случају. Снимљена карактеристика путем NI6008 картице се може видети на слици 148.



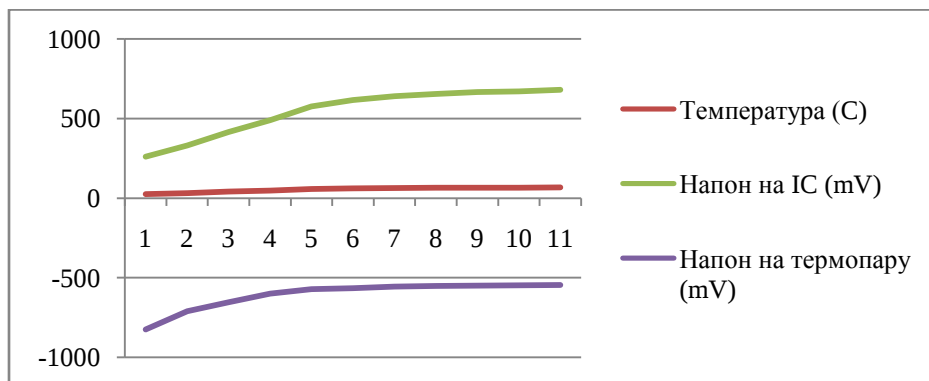
Слика 148. Карактеристике излазног сигнала са термопара (љубичасти сигнал) и са ИС претварача (црвени сигнал)

У табели 19. дат је табеларни приказ карактеристике термопара.

Време (min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура (°C)	26	33	41.5	49	57.5	61.6	64	65.4	66.6	67	68
Напон на ИС (mV)	260	330	415	490	575	616	640	654	666	670	680
Напон на термопару (mV)	-825	-710	-654	-599	-572	-565	-556	-551	-549	-547	-545

Табела 19. Табеларни приказ вредности напона на излазу термопара и ИС претварача током времена

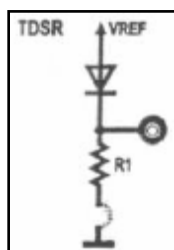
Ради прегледности на слици 149. је дат приказ измерене карактеристике излазног сигнала на термопару по времену у зависности од температуре. На истој слици дата је и карактеристика на ИС претварачу ради поређења.



Слика 149. Графички приказ карактеристика излазних сигнала термопара и IC претварача

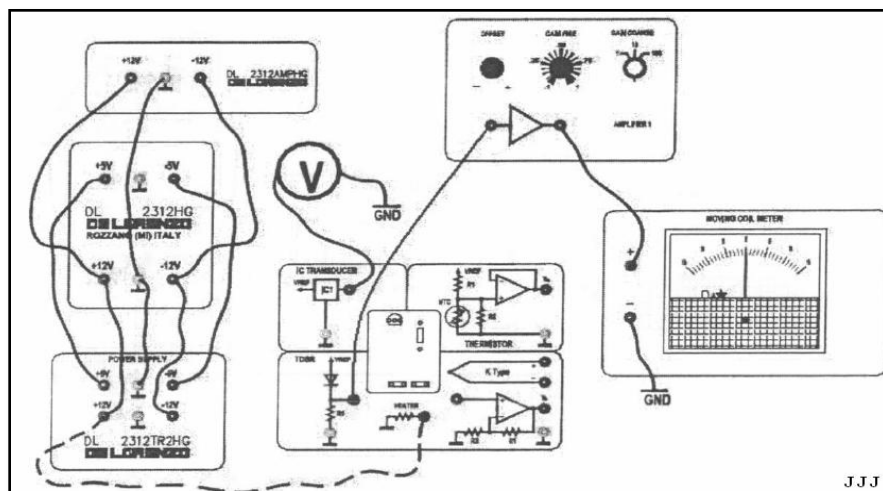
4.6.4. Мерење температуре помоћу диоде, "Diode Temperature Sensor"

Обична полупроводничка диода може бити коришћена као сензор температуре, и при томе да даје задовољавајуће резултате. Оне су најјефтинији сензор за мерење температуре. Преносни однос износи $2.3\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Символ диоде за мерење температуре у оквиру модула DL2312 уређаја намењеног за то дат је на слици 150.



Слика 150. Символ диоде за мерење температуре у оквиру DL2312HG

Шема повезивања диоде са остатком кола при мерењу температуре дата је на слици 151.



Слика 151. Шема повезивање елемената при мерењу температуре уз помоћ диоде

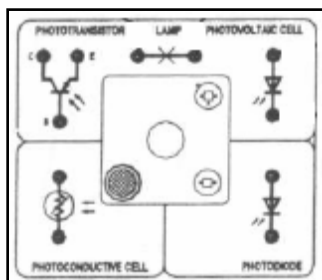
Због мале вредности излазног напона потребно је излазни сигнал са диоде одвести прво на појачавач а затим са појачавача и ти сигнали се мере. Повезивање излазних сигнала на NI6008 картицу се врши на већ до сада виђен начин и све већ наведене напомене важе и за овај случај.

4.7. Елементи за мерење интензитета светлости

Елементи за мерење светлости у оквиру уређаја DL2312HG су постављени на исти начин као и уређаји за мерење температуре. Налазе се у засебном модулу у чијем центру се налази лампа која служи као извор светлости. Елементи који постоје за мерење светлости су:

1. Фотонапонска ћелија
2. Фототранзистор
3. Фотоотпорник
4. Фотодиода

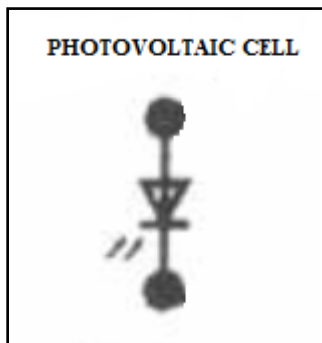
Изглед модула у коме су смештени сви ови елементи дат је на слици 152.



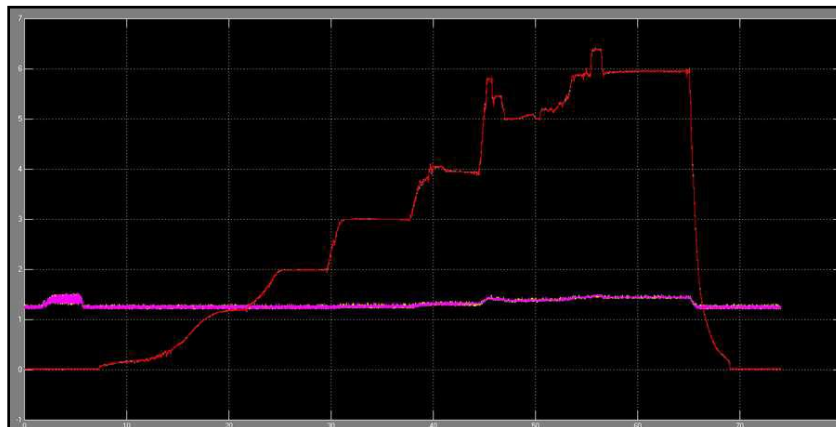
Слика 152. Изглед модула у коме су смештени елементи за мерење интензитета светлости

4.7.1. Фотонапонска ћелија, "Photovoltaic cell"

Симбол фотонапонске ћелије је дат на слици 153.



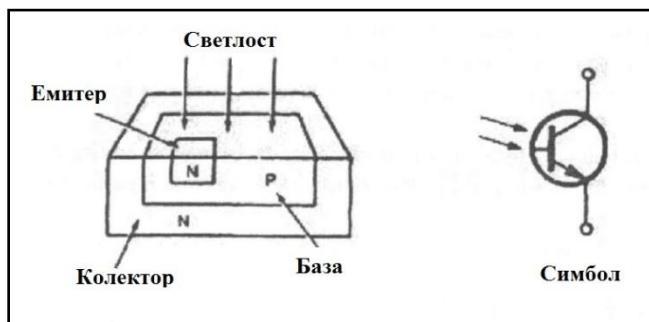
Слика 153. Симбол фотонапонске ћелије



Слика 155. Приказ промене излазног напона на фотоћелији у зависности од улазног напона на лампу који је пропорционалан интензитету светлости

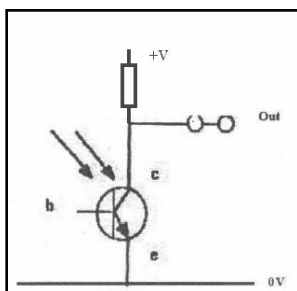
4.7.2. Фототранзистор, "Phototransistor"

Шема грађе фототранзистора и симбола кола фототранзистора дати су на слици 156.



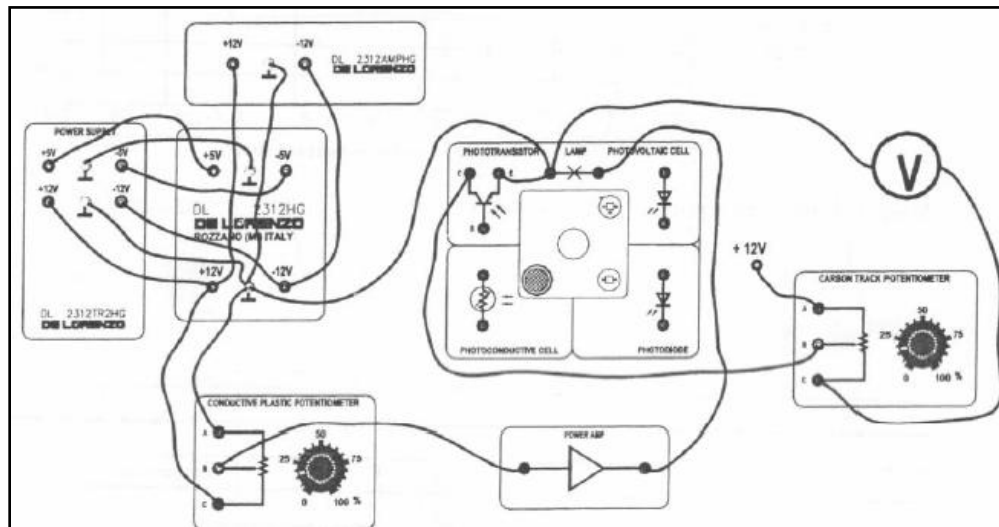
Слика 156. Грађа и симбол фототранзистора

Елемент је по грађи трослојни полупроводнички елемент, NPN, који поседује три терминала: емитер, базу и колектор. Фототранзистор функционише тако што светлост делује на спој колектор базе, чиме се повећава проток струје. У поређењу са фотодиодом, фототранзистор је знатно осетљивији елемент. Узлазни напон кола опада са повећањем струје, напон пада са повећањем интензитета светлости. Начин везивања фототранзистора у коло је дат на слици 157.



Слика 157. Шема повезивања фототранзистора у коло

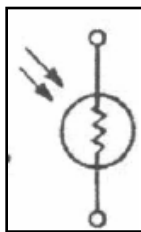
Како повезати елементе при мерењу интензитета светлости помоћу фототранзистора показано је на слици 158. Начин мерења сигнала је исти као и у досадашњим примерима.



Слика 158. Шема мерења интензитета светлости уз помоћ фототранзистора

4.7.3 Фотоотпорник, "Photoconductive Cell"

Фотоотпорник је такав отпорнички елемент да када расте интензитет светлости његова отпорност пада. Симбол фототпорника је дат на слици 159.



Слика 159. Симбол фотоотпорника

Карактеристике дате од стране произвођача дате су у табели 20.

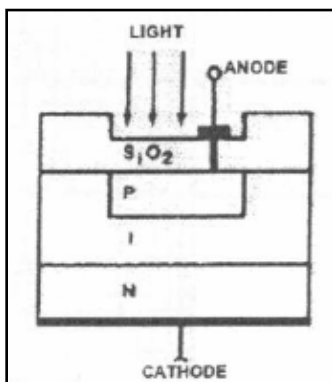
Отпорност фотоотпорника	Без светлости	10 MΩ
	50 Lux	2.4 kΩ
	Типично окружење	500 Ω
	100 Lux	130 Ω
Време одзива	При порасту осветљења	75ms
	При смањењу осветљења	350ms
Пик спектра светлости		510nm

Табела 20. Карактеристике фотоотпорника дате од стране произвођача

Начин примене овог елемента из неког разлога није урадио ни сам произвођач тако да даља реализација није извођена.

4.7.4 Фотодиода, "Photodiode"

На слици 160. је дата конструкција фотодиоде коришћене у уређају DL2312HG.



Слика 160 Конструкција фотодиоде

Када се погледа слика 160. види се да ова фотодиода није класична фотодиода са PN спојем. Уместо тога користи се такозвани PIN спој. Разлика је у томе што код PIN фотодиоде постоји још један додатни силиконски слој. Овај додатни слој смањује капацитивност фотодиоде и тиме директно смањује време одзива. Симбол за фотодиоду коришћен у оквиру DL2312HG је дат на слици 161.



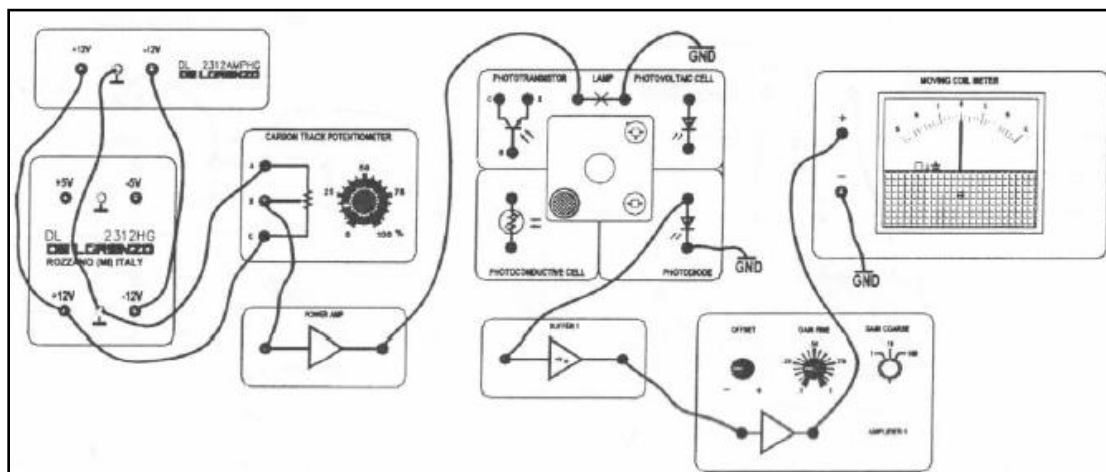
Слика 161. Симбол фотодиоде

Основне карактеристике које је дао произвођач могу се наћи у табели 21.

Струја без осветљења	1 nA
Струја са осветљењем	10 nA/Lux
Капацитивност	15 pF
Време одзива	50 ns
Пик спектралног одзива	850nm

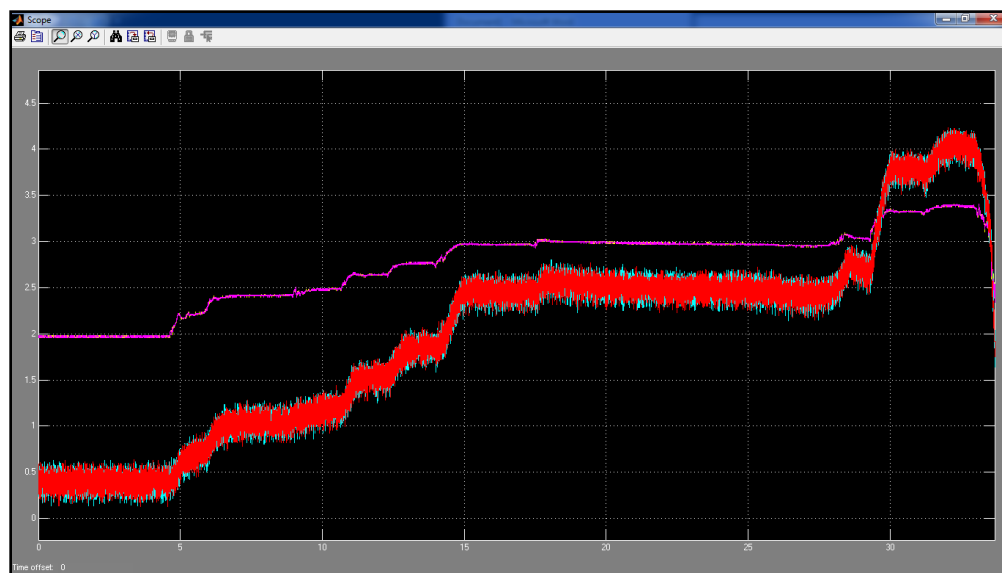
Табела 21. Карактеристике фотодиоде дате од стране произвођача

Шема повезивања свих неопходних елемената у коло да би се мерио интензитет светлости путем фотодиоде дата је на слици 162.



Слика 162. Шема повезивања елемената при мерењу интензитета светлости путем фотодиоде

Са слике 162 се уочава да се поново користи лампа као извор светлости. Са извора једносмерног напона, напон се доводи на крајеве потенциометра и на њему се врши промена напона која условљава различит интензитет светлости на лампи. Са излазног контакта потенциометра напон се одводи на појачавач снаге (може да се одради вежба и без појачавача снаге) а затим на један крај лампе, на други крај лампе се доводи уземљење. Да би фотодиода функционисала потребно је један њен крај повезати са уземљењем а са другог контакта фотодиоде сигнал се одводи прво на бафер а затим на појачавач (пре употребе подесити да је офсет сигнала на нули). Са појачавача сигнал се води на мерни инструмент. Резултати мерења се могу видети на слици 163.



Слика 163. Приказ напона на лампи и напона на фотодиоди који је појачан 25 пута

Љубичасти сигнал представља напон на крајевима лампе, а црвени сигнал излазни напон са фотодиоде и при томе преко појачавача је појачан 25 пута. Мерењем се закључује да са повећањем напона на крајевима лампе, а тиме и интензитета светлости повећава и излазни напон фотодиоде. Због појачања од 25 пута појачан је и шум који се јавља. Напон на лампи почиње са 2V.

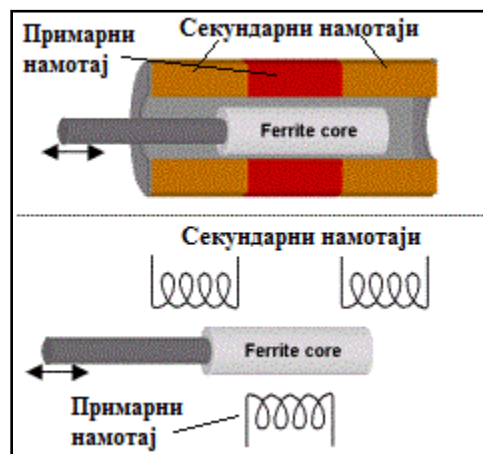
4.8. Елементи за мерење помераја и силе

Уз уређај DL2312HG иде неколико елемената који су намењени за мерење помераја и силе и то су:

1. Линеарни варијабилни диференцијални трансформатор (LVDT)
2. Серво потенциометар
3. Мерна трака

4.8.1. Линеарни варијабилни диференцијални трансформатор (LVDT)

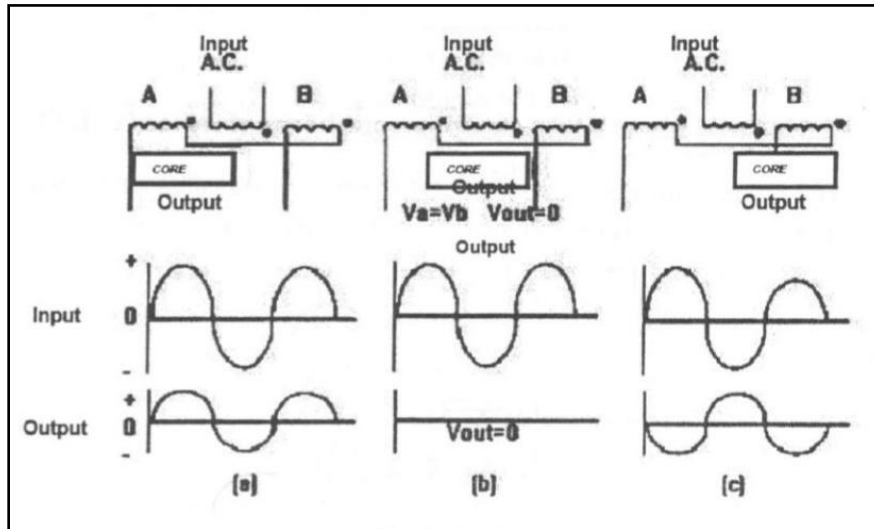
LVDT је елемент који служи да се мери линеарни померај. Његова конструкција је дата на слици 164. Састоји се од примарног намотаја, два секундарна намотаја и помичног феритног језгра. Преко језгра се механички померај детектује, и померање језгра изазива реакције путем којих се очитава вредност помераја.



Слика 164. Конструкција LVDT-а

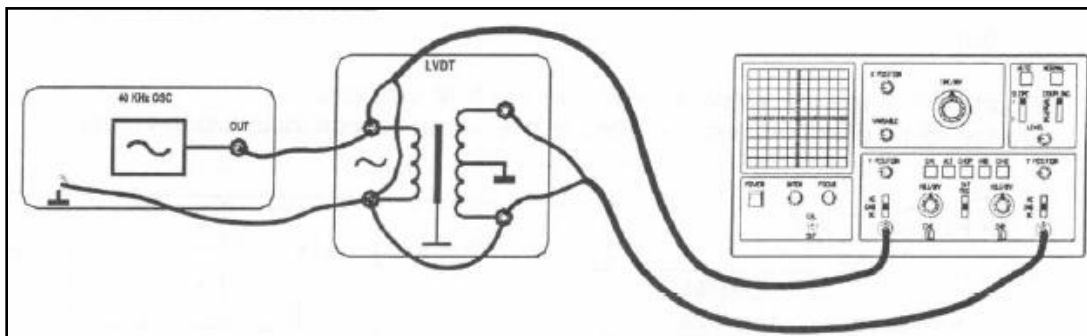
Примарни намотај је повезан за спољашњи извор напајања и омогућава појаву индукције. Секундарни намотаји су редно повезани али им је поларитет обрнут тако да излазни напон представља разлику индукованих напона на намотајима. Секундарни намотаји имају исти број намотаја па је једина променљива положај језгра. Када је језгро у средини индуковани напони на секундарним калемовима су једнаки, па када се одузму

један од другог добија се нулта вредност која треба да се прочита на излазу. Када је језгро у крајњим тачкама излазни напон би требао да буде у протофази јер се ради одузимању, а истих су вредности. Ово је показано на слици 165.



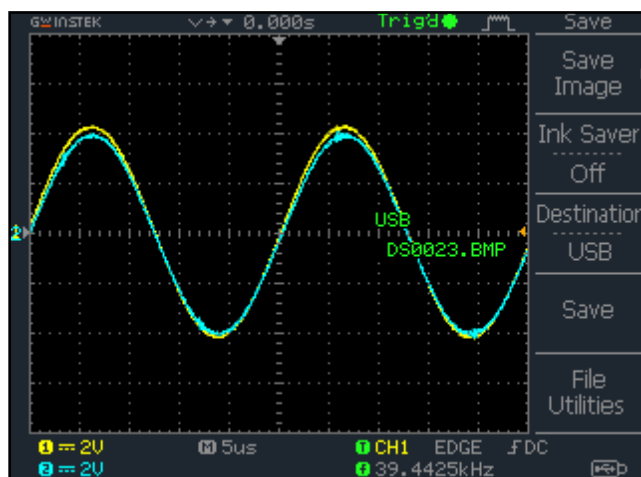
Слика 165. Изглед излазних сигнала у зависности од положаја језгра

Са слике 165. види се да је сигнал под а) у супротној фази са сигналом под ц) јер је језгро скроз на супротној страни. Ово је наведено да би се теоријско виђење упоредило са практичним резултатима који се разликују. Шема при мерењу сигнала са LVDT-а је приказана на слици 166.



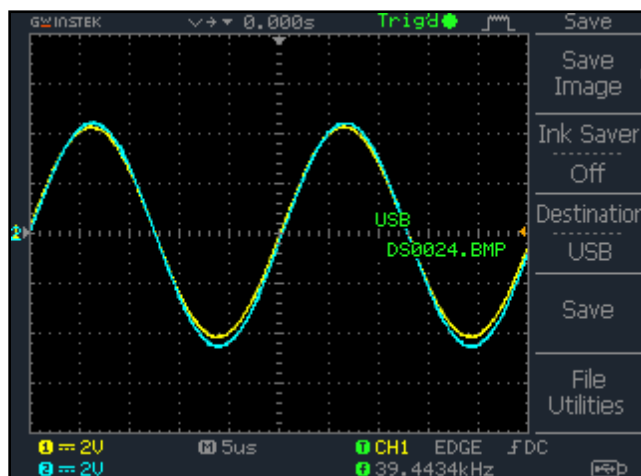
Слика 166. Шема мерења помераја помоћу LVDT-а

Као извор напајања за примарни намотај искоришћен је 40 kHz осцилоскоп, а излазни сигнал се мерио помоћу осцилоскопа. Резултати су приказани на следећим сликама. Прва слика у низу, слика 167. представља излазни сигнал када је калем на средини. Жутом бојом је представљен излазни напон, а плавом улазни напон.



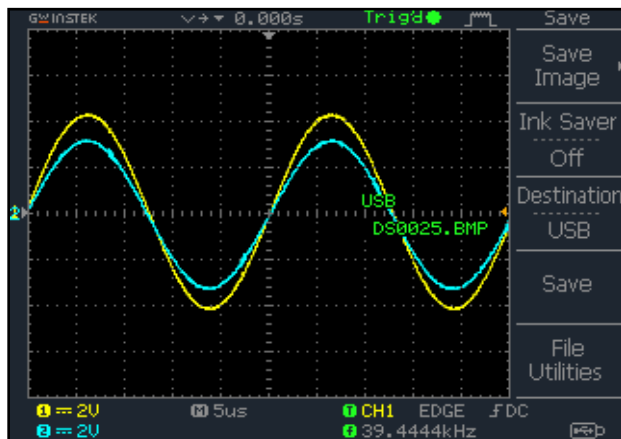
Слика 167. Улазни и излазни сигнал када је калем на средини

Ако се упореде резултати са теоретским види се да постоји супротност јер би у овом тренутку излазни сигнал требао да буде једнак нули а овде се види да је одступање излазног сигнала јако мало у односу на улазни сигнал. Фреквенција осциловања одговара излазној карактеристици осцилоскопа, напон $V_{pp}=8V$. На слици 168. је приказана карактеристика када је калем скроз лево.



Слика 168. Улазни и излазни сигнал када је калем скроз лево

Сигнал је и даље у фази са улазним сигналом, фреквенција осциловања одговара фреквенцији излазног сигнала осцилоскопа а улазни напон је промењен и сада износи $V_{pp}=9.04V$. И на крају, дата је карактеристика сигнала када је калем скроз десно, слика 169. Може се приметити да су сигнали и даље у истој фази, само је амплитуда смањена и она сада износи $V_{pp}=6.48V$.

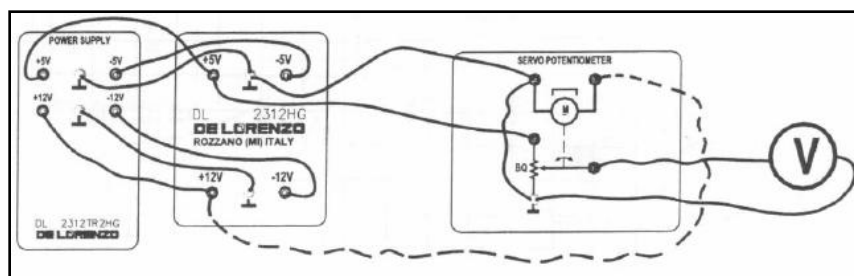


Слика 169. Улазни и излазни сигнал када је калем скроз десно.

Напомена: Улазни и излазни сигнали се не могу мерити помоћу NI6008 картице због недовољне фреквенције одабирања. Зато је потребно користити осцилоскоп.

4.8.2. Серво потенциометар, "Servo potentiometer"

Серво потенциометар је променљиви отпорник, и излазни напон на његовим крајевима зависи од угаоног помераја који је остварен. На уређају DL2312HG серво потенциометар је повезан са мотором једносмерне струје преко зупчаника и то представља један вид његовог покретања, наравно може и ручно. Шема повезивања је дата на слици 170.



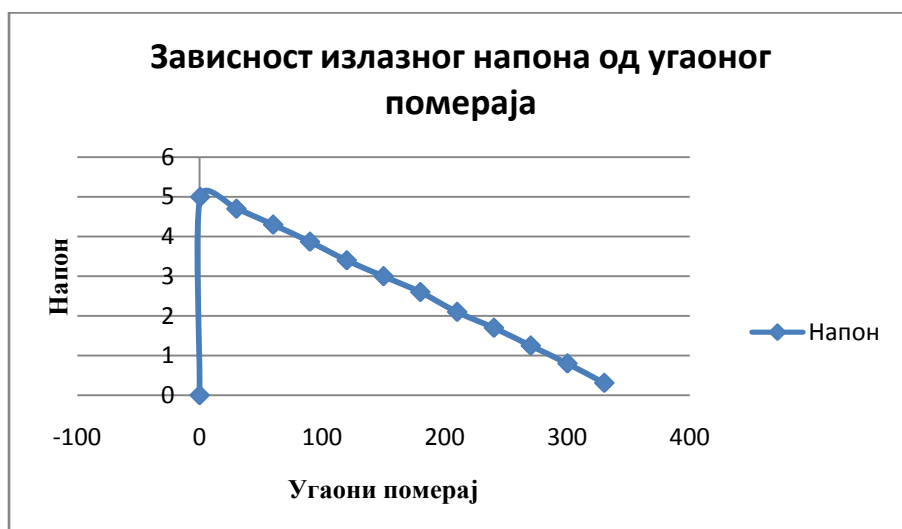
Слика 170. Повезивање серво потенциометра са мерним инструментима

Прво је урађено ручно мерење вредности напона у зависности од положаја, и та мерења су извршена за карактеристичне вредности обртања. Резултати су дати у табели 22.

Угаони померај	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
Вредност напона (V)	0	4.7	4.3	3.87	3.4	3	2.6	2.1	1.7	1.25	0.8	0.31

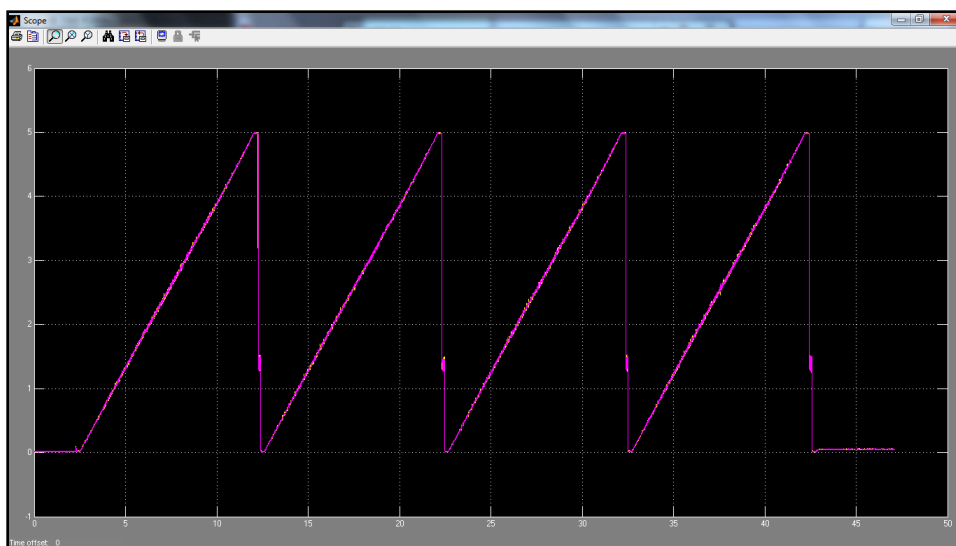
Табела 22. Табеларни приказ вредности напона у зависности од угаоног помераја

Када се добијене вредности при ручном померању представе графички добија се график као на слици 171.



Слика 171. Графичко представљање вредности

Након ручног мерења уследило је мерење уз помоћ NI6008 картице. Шема повезивања је као на слици 170. и овог пута је укључен у рад мотор који је равномерно померао мотор неколико пуних кругова. Излазни сигнал се одводио на NI6008 картицу по већ стандардној процедури. Снимљена карактеристика је дата на слици 172. Супротан смер нагиба праве карактеристике излазног напона говори о томе да се користио супротан смер обртања од оног у првом случају.

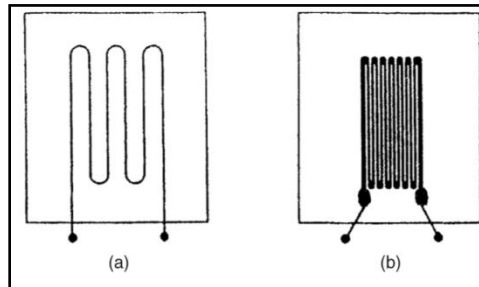


Слика 172. Приказ излазног сигнала са серво потенциометра при константној ротацији

Закључује се да је карактеристика серво потенциометра линеарна.

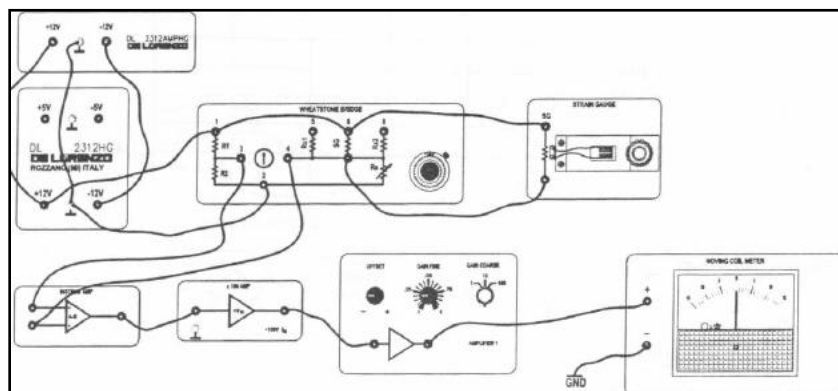
4.8.3 Мерна трака, "Strain Gauge"

Симбол мерне траке дат је на слици 0.173.



Слика 173. Симбол мерне траке

Мерне траке спадају у тензоотпорне елементе. То су нелинеарни елементи чија отпорност зависи од механичке деформације и деформације којој су изложени. Израђује се од жица врло малих пресека које су меандрисане или од отпорне фолије. Такође се могу израдити од полупроводничких материјала. При мерењу мерне траке су залепљене за елемент који се деформише, тако је и на DL2312HG уређају. Када дође до деформације елемента који се деформише за исту вредност се деформише и мерна трака. Деформацијом мерне траке смањује се попречни пресек жице и тиме се повећава отпорност. Сразмерно деформацији којој је изложена повећава се отпорност. Обично су повезане за Вистонов мост ради прецизности мерења. Тако је и у случају који ће бити описан. Шема повезивања која описује како се мери сигнал са мерне траке дата је на слици 174.



Слика 174. Повезивање мерне траке са мерним инструментом.

Излаз са мерне траке се одводи на SG контакт Вистоновог моста. Други крај SG контакта спојен је са извором напајања, и контакт 1 је спојен са напајањем. Контакт 2 је спојен са уземљењем, са контакта 3 сигнал се одводи на негативан улазни контакт инструменталног појачавача а са контакта 4 сигнал се одводи на позитиван улазни контакт инст. појачавача. Излазни сигнал са инст. појачавача се одводи до појачавача и затим се

очитава вредност напона која је пропорционала деформацији. Карактеристике мерне траке дате од стране произвођача дате су у табели ж18.

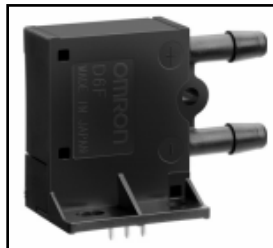
Максимално оптерећење	200g
Осетљивост	25g/V
Дужина	5mm
Деформација	2-4%
Отпорност	320 Ω

Табела 23. Карактеристике мерне траке

4.9. Сензори протока, притиска и влажности

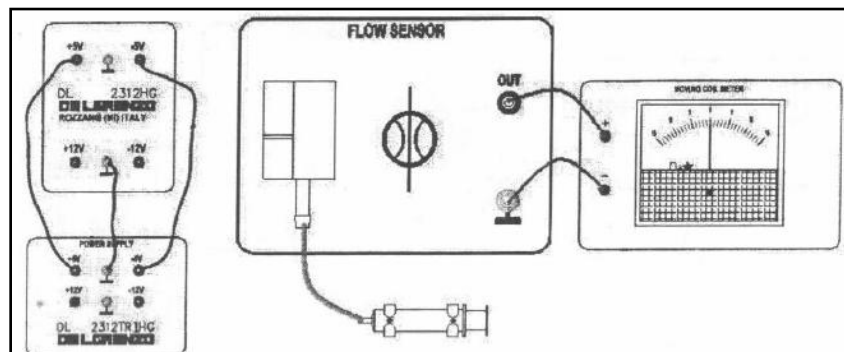
4.9.1. Сензор протока, "Flow sensor"

Постоји много врста мерача протока чија подела се може извршити на више начина. Најчешћа подела се врши према врсти радног флуида, према начину остваривању мерења протока, итд. Сензор протока који може да се нађе на DL2312HG уређају је мерач протока ваздуха. Има два контакта тако постављена да кроз један флуид улази а на други флуид излази. Мерач је двосмерног типа што значи да може мери проток у оба смера. Изглед елемента је дат на слици 175.



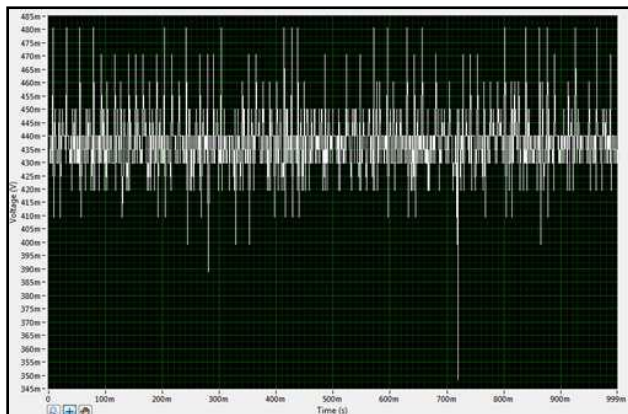
Слика 175. Изглед сензорка протока

Приказ шеме повезивања елемената при тестирању сензора протока дат је на слици 176.



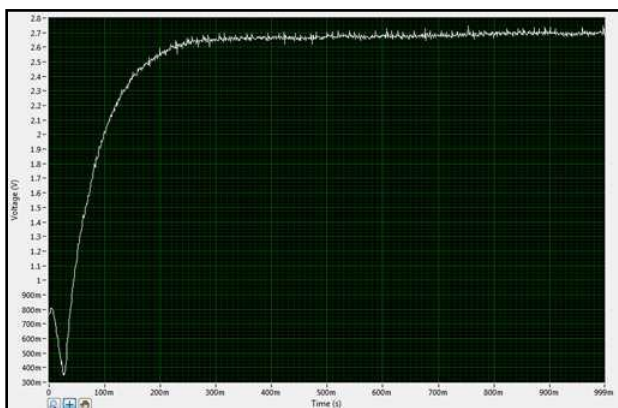
Слика 176. Кофигурација елемената при снимању излазног сигнала са сензора протока

Може се приметити да је мерење крајње једноставно, излазни сигнал се одводи на мерни инструмент, за NI6008 важе иста правила повезивања као до сада. Улога шприца је да се уз помоћ њега обезбеди проток ваздуха. Добијени резултати су приказани на следећим сликама. Први сет слика карактерише стање излазног сигнала када се ваздух удувава на позитиван крај сензора.



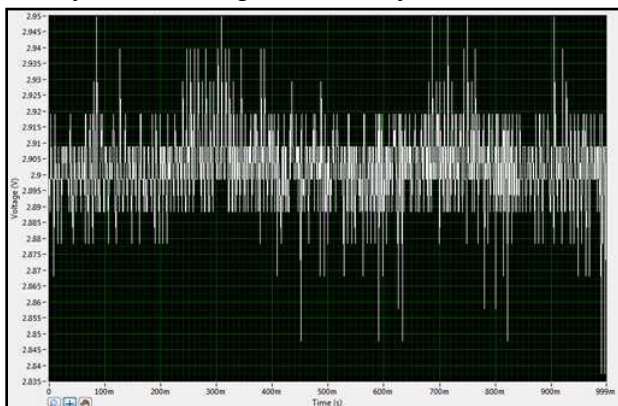
Слика 177. Приказ сигнала када нема протока ваздуха

На слици се види да и када нема протока ваздуха постоји излазни сигнал мале напонске вредности.



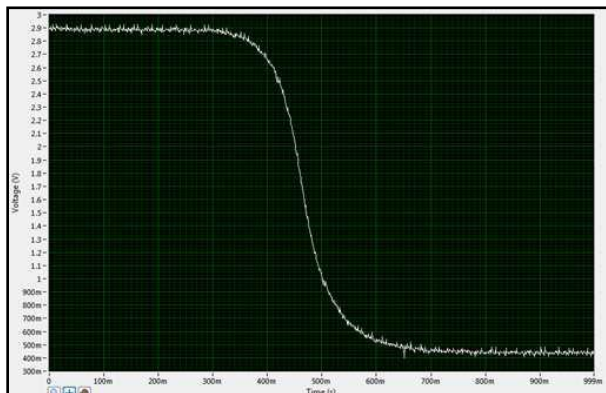
Слика 178. Приказ излазног сигнала у тренутку када почиње проток ваздуха

Са слике 0.146 се види јасан ског излазног напона на почетку протока ваздуха, а затим сигнал стагнира због устаљеног протока ваздуха.



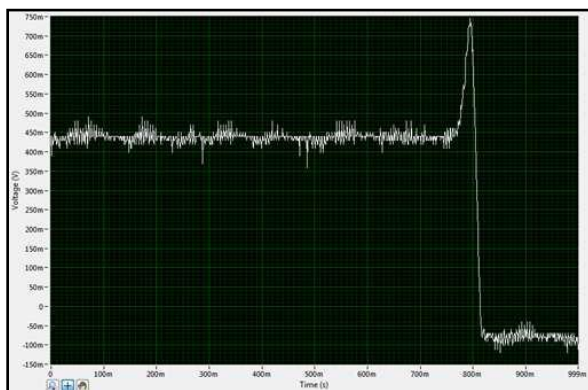
Слика 179. Приказ излазног сигнала при константном протоку

На слици 179. види се да је излазни сигнал константан при константном протоку.



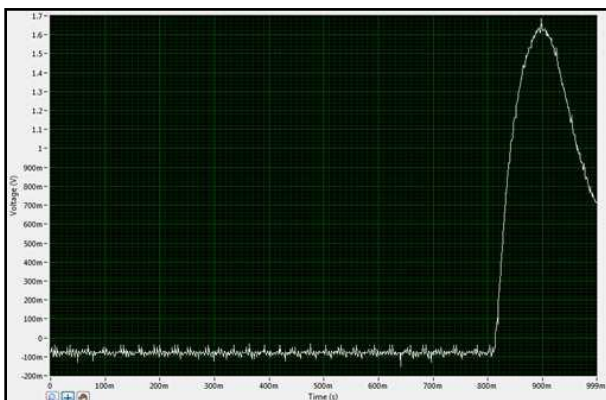
Слика 180. Приказ излазног сигнала у тренутку престанака протока ваздуха

Исти сет приказа ће бити и сада приказан само што се сигнал доводи на други улаз, па се добија инверзна карактеристика.



Слика 181. Приказ излазног сигнала у тренутку када почиње проток ваздуха

На слици 181. се види скок (у негативну вредност) при почетку протока ваздух, само је сада инверзан у односу на први случај.

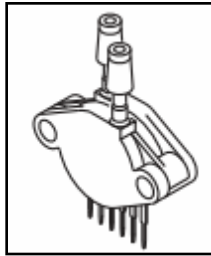


Слика 182. Приказ излазног сигнала у тренутку престанка протока ваздуха

Са слике 182. се види да при престанку протока ваздуха сигнал узима своју првобитну вредност. Овим је приказано шта је могуће очекивати при мерењу сигнала са сензора протока, посебно од избора смера протока флуида кроз елемент.

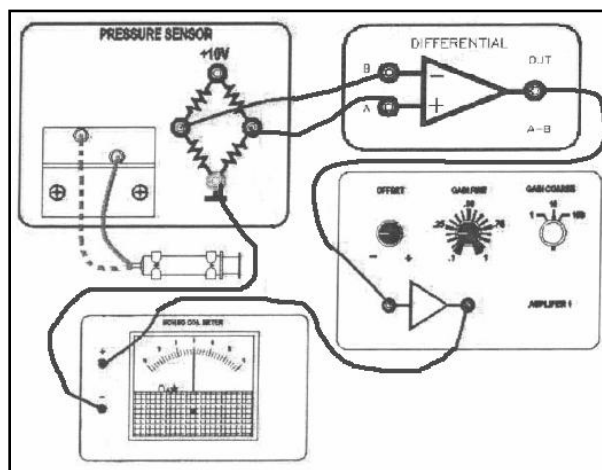
4.9.2. Сензор притиска, "Pressure sensor"

Изглед сензора притиска датог уз DL2312HG је дат на слици 183.



Слика 183. Изглед сензора притиска

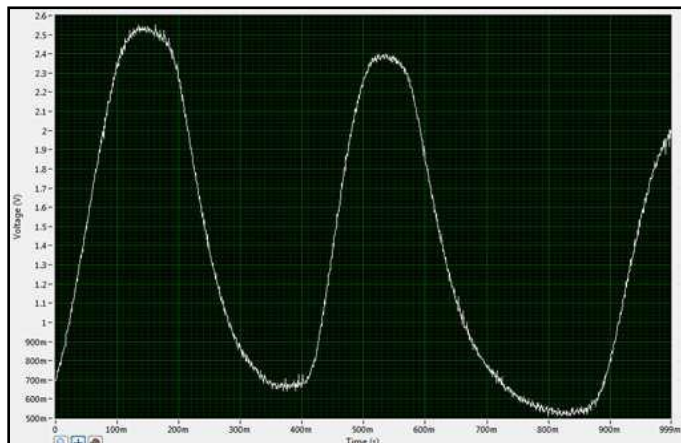
Овај сензор има два улаза на које је могуће доводити притисак. Сензор притиска који се налази на DL2312HG ради тако што има покретну мембрану на којој се налази мерна трака. При дејству притиска мембрана се шири и тиме се деформише мерна трака која је повезана у Вистонов мост. Преко мерне траке добија се излазни напон који је пропорционалан притиску коме је сензор изложен. Шема повезивања при мерењу притиска дата је на слици 184..



Слика 184. Принцип повезивања при мерењу притиска

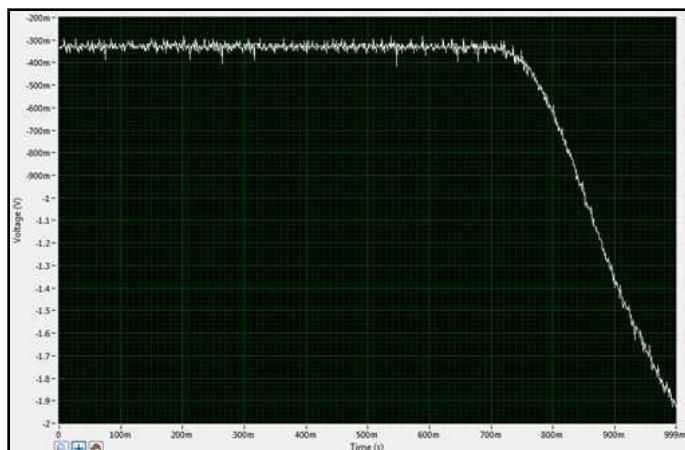
Да би мерење било успешно потребно је излазне контакте са сензора притиска одвести на диференцијални елемент па са њега на појачавач. Са појачавача сигнал се одводи на мерни инструмент, ако је то NI6008 картица поступак повезивања је исти као и у досадашњим случајевима. Добијени резултати мерења су приказани на следећим

сликама. На слици 185. је приказан излазни сигнал кад је притисак променљив и доводи се на први контакт.



Слика 185. Изглед излазног сигнала при променљивом притиску

Са графика приказаног на слици 185. види се да сензор притиска има сасвим задовољавајућу карактеристику и добар временски одзив. Другачији сигнал се добија када се притисак остварује на други контакт, слика 186. Разлика је у поларитету напона, исто као и код мерача протока.



Слика 186. Излазна карактеристика напона када се повећава притисак, а делује се на други улаз

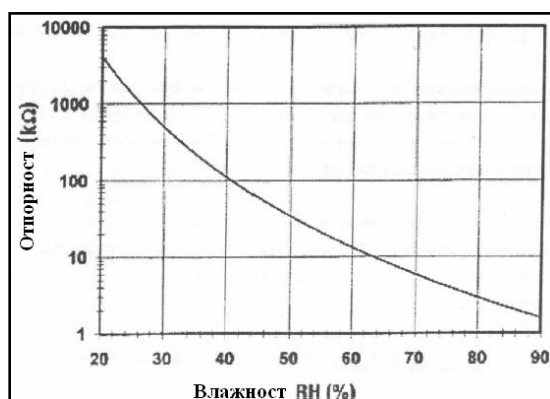
На слици 186. је приказано да са повећањем притиска на другом контакту долазу до негативног повећања напона, инверзно од случаја када се делује на први контакт. Карактеристике које је дао произвођач за мерач притиска дате су у табели 24.

Осетљивост	0.2mV/kPa
Максимални притисак	400kPa
Време одзива	1ms
Радна температура	од -40°C до +125°C

Табела 24. Карактеристике сензора притиска.

4.9.3. Сензор влажности, "Humidity Sensor"

Постоји више врста сензора влажности, и та подела се заснива на принципу рада. Сензор влажности у оквиру DL2312HG спада у групу отпорних сензора влаге, то значи да се његова отпорност мења са променом влаге средине у којој се налази. Карактеристике сензора су дате на слици 187. и у табели 25.

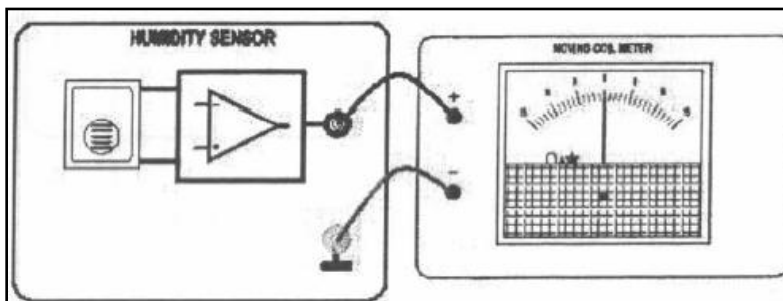


Слика 187. Статичка карактеристика сензора влаге коришћеног у оквиру DL2312HG

Радна температура	0-50°C
Подручје рада (опсег влажности)	10-100% RH
Тачност у опсегу 25-90% RH	±5% RH
Тачност у осталом опсегу	±10% RH
Улазни напон	5±0.2 Vd.c.
Време одзива	5 минута

Табела 25. Карактеристике елемента дате од стране произвођача

Карактеристике показују да вредност отпорности опада са порастом влажности средине. Мерење излазног сигнала је крајње једноставно и може се видети на слици 188.



Слика 188. Приказ мерења излазног сигнала са сензора влажности

На слици је приказано да се мери помоћу аналогног мерача, али исто тако се може мерити и уз помоћ NI6008 картице. Принцип повезивања излазног сигнала са терминалима на картици је исти као у досада показаним примерима.

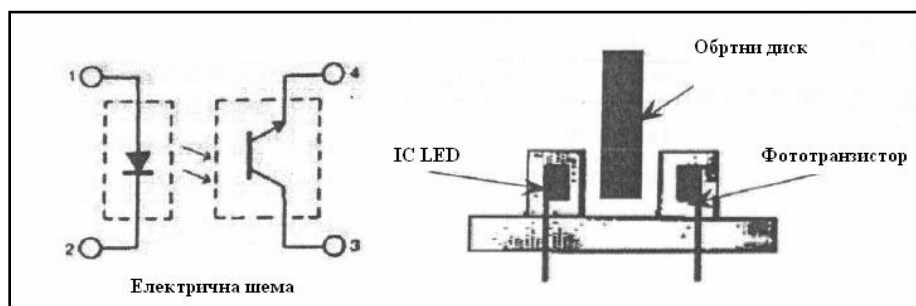
4.10. Елементи за мерење угаоног положаја и угаоне брзине

Елементи који су намењени за мерења угаоног положаја и угаоне брзине у оквиру DL2312HG су:

1. Оптоелектронски сензор
2. Опторефлективни сензор
3. Индуктивни сензор
4. Сензор са Холовим ефектом
5. Тахогенератор

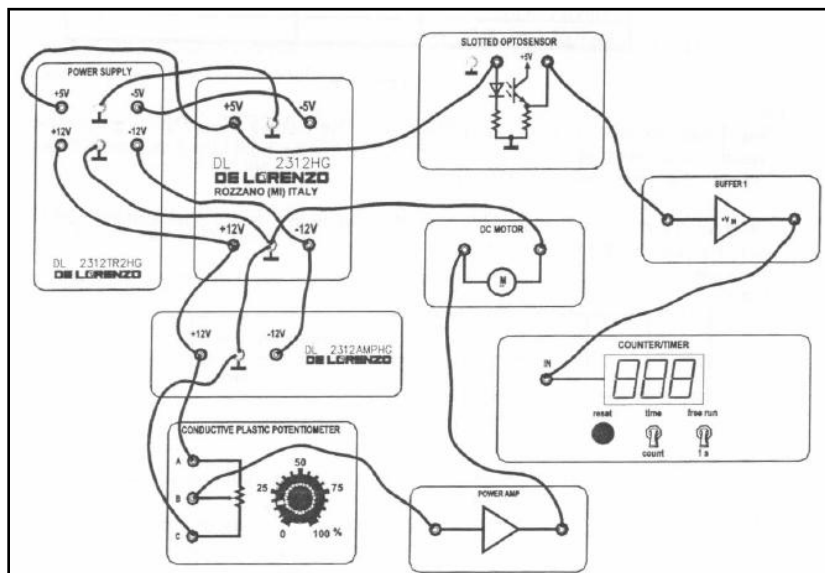
4.10.1. Оптоелектронски сензор, " The optoelectronic slot transducer"

Принцип рада оптоелектронског сензора се заснива на промени параметара оптичког сигнала са променом физичке величине. Ови сензори су због тога немају галванске ни магнетне везе, већ само оптичке па се често називају оптички сензори. Област примене је велика. Могу се користити при раду са малим и великим вредностима. Мана ових сензора је сложеност израде, потреба за накнадном обрадом сигнала, осетљивост на механичке вибрације. Основни параметри оптичког сигнала су: амплитуда, фреквенција, фаза, поларизација. Оптоелектронски претварач је сачињен од диоде која је извор светлости, и фототранзистора на чији рад светлост утиче. Постављени су једно наспрам другог. Између њих се налази ротирајући диск који периодично прекида сноп светлости који иде ка транзистору, што изазива промену излазне вредности напона. Та промена се дешава периодично и у зависности од вредности периода мери се угаона брзина или као мерач броја обртаја (број обртаја је једнак броју промена излазног сигнала). Шема која описује конструкцију оптоелектронског сензора је дата на слици 189.



Слика 189. Конструкција оптоелектронског сензора

При мерењу брзине или броја обртаја са оптоелектронског сензора на уређају DL2312HG потребно је повезати елементе као на слици 190.



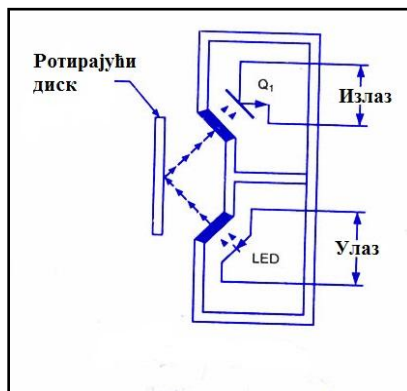
Слика 190. Шема повезивања при мерењу сигнала са оптоелектронског сензора

У практичном раду, изостављен је појачаваач снаге јер не ради, већ је директно са генератора једносмерног напона од 5V напон одвођен на мотор. Остало повезивање је исто. На први контакт оптоелектронског сензора се доводи напајање од 5V неопходно за рад диоде, а са другог контакта читава се излазни сигнал са транзистора и његова фреквенција осциловања одговара броју обртаја. При напајању од 5V мотор се окреће брзином од 1600 min^{-1}

4.10.2. Опторефлективни сензор, "Optoreflexive transducer"

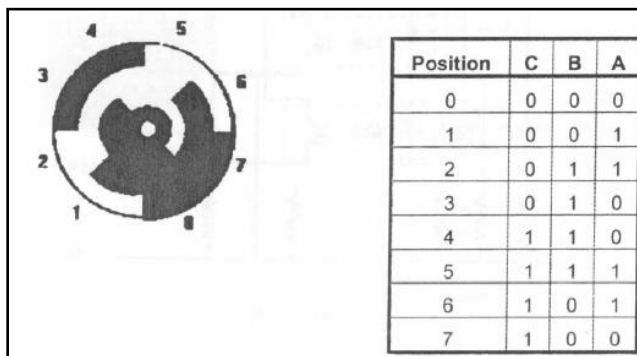
По грађи је врло сличан оптоелектронском сензору јер се састоји од диоде и фототранзистора. Једина разлика је у њиховом распореду. Због тога се сада сноп светлости не пресеца, већ треба да се рефлектује од ротирајућег диска који је тако изведен да на њему постоји рефлектујући и нерефлектујући сегменти. Распоред сегмената описује вредност помераја и представља се помоћу Грејовог кода. Када се сигнал рефлектује од површине тада сензор даје излазни напон приближно 5V, а када се не рефлектује даје врло мали излазни напон.

На опторефлективном сензору коришћеном на уређају DL2312HG постоје три пара диода и транзистора чији комбиновани излаз даје угаони померај. Шема конструкције опторефлективног сензора је дата на слици 191.



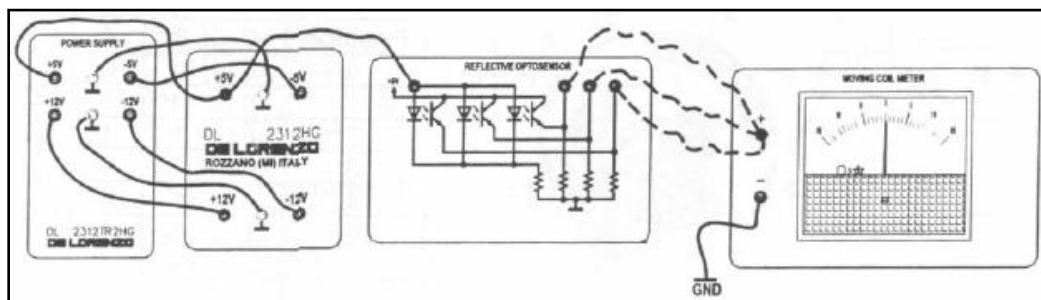
Слика 191. Шема конструкције опторефлексивног сензора

Изглед сегментираног ротирајућег диска је дат на слици 192.



Слика 192. Изглед ротирајућег диска и Грегоров код као опис положаја

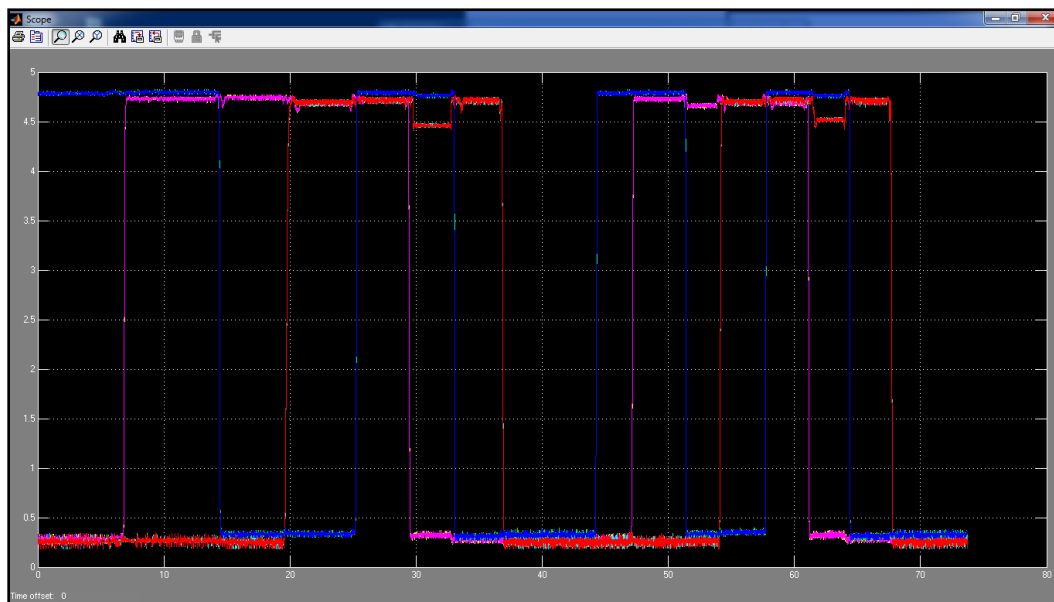
Диск је подељен на три прстена и сваки прстен на два дела, рефлектујући и нерелектујући. Унутрашњи прстен је означен са С, средњи прстен је означен са В и спољашни прстен је означен са А. за мерење угаоног помераја помоћу опторелективног елемента користи се шема приказана на слици 0.193.



Слика 193. Шема повезивања елемената при мерењу угаоног положаја помоћу опторелективног сензора

На улаз опторелективног сензора доводи се напон од 5V. Сензор има 3 излазна контакта. Сваки контакт репрезентује по један прстен на диску. Да би се добио тачан

положај потребно је мерити сва три сигнала истовремено. То се постиже тако што се сви излазни сигнали истовремено одводе на AI+ терминале NI6008 картице. При томе и одговарајући GND терминали су повезани са уземљењем. Изглед сигнала при промени угаоног положаја је дат на слици 194.

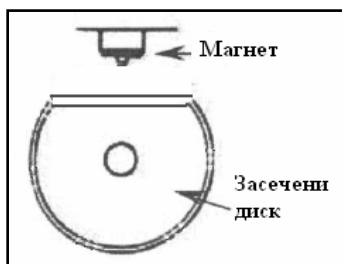


Слика 194. Приказ излазних сигнала током промене вредности угаоног положаја

Прстен А је представљен са плавим сигналом, прстен В са љубичастим сигналом и прстен С са црвеним сигналом. Закључак је да је вредност угаоног положаја је у сваком тренутку дефинисана излазним сигналимa и да зависи од комбинације стања излазних сигнала.

4.10.3. Индуктивни сензор, " Inductive transducer"

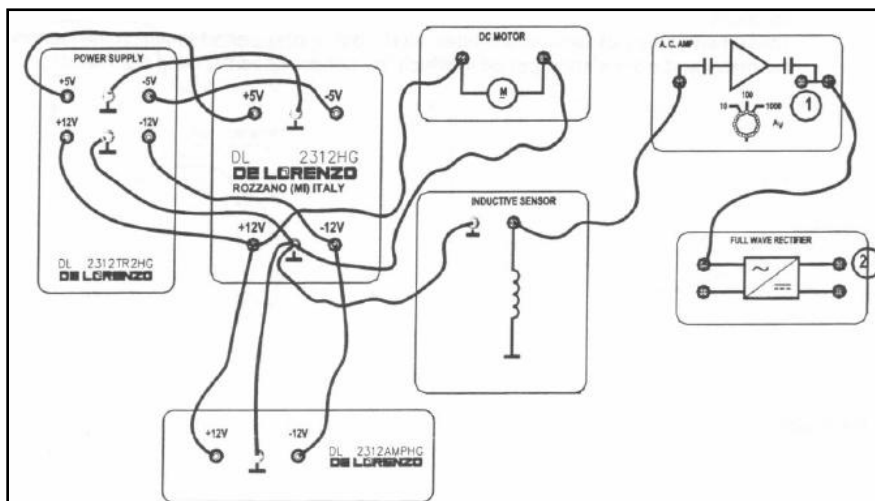
Шема конструкције овог елемента је дата на слици 195.



Слика 195. Принцип конструкције индуктивних сензора

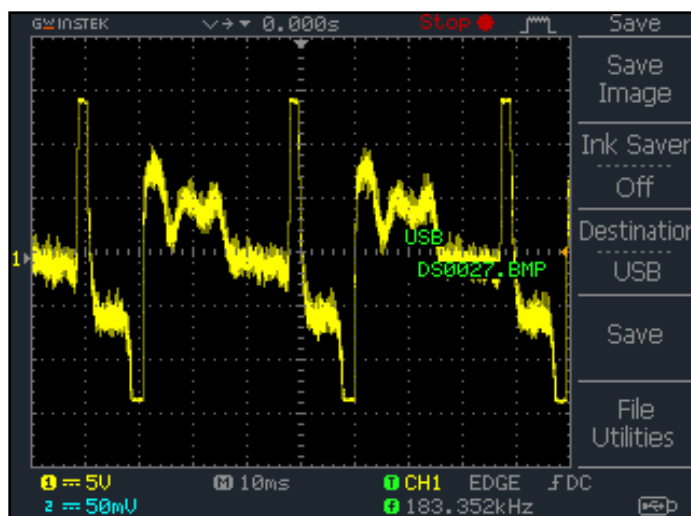
Индуктивни сензор се састоји од магнета и диска који је једним делом засечен. Диск је ротациони елемент. Када је диск изнад магнета у намотају даје нулти излазни напон.

Када диск наиђе засеченим делом изнад магнета јавља се напон у виду импулса на крајевима намотаја услед промене вредности магнетног поља. Фреквенција понављања импулса одговара брзини обртања диска. Шема повезивања при мерењу брзине обртања овим елементом дата је на слици 196.



Слика 196. Начин повезивања при мерењу угаоне брзине помоћу индуктивног сензора

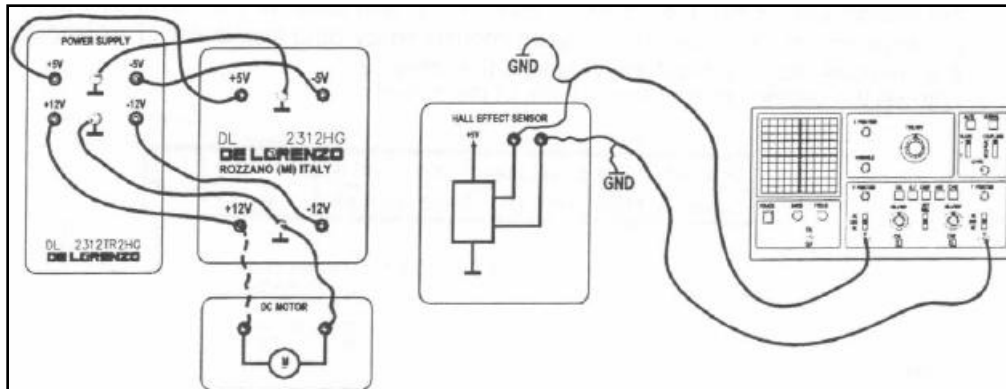
У практичном примеру излазни сигнал је прочитан са излаза АС појачавача јер није било могуће мерити сигнал са исправљача таласа. Исто тако за напајање мотора коришћен је напон од 5V. Излазни сигнал при раду мотора је дат на слици 197. и на њој се примећује да елемент ради као што теоретски треба јер се јављају пикови када наиђе засечени део.



Слика 197. Излазни сигнал са индуктивног претварача напона

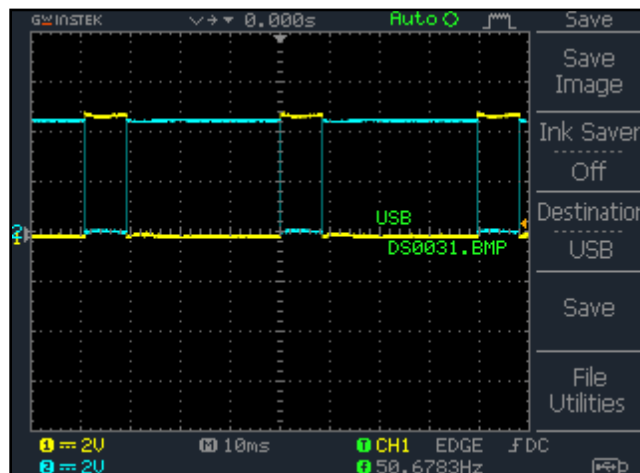
4.10.4. Сензор са Холовим ефектом, "Hall effect transducer"

Халов ефекат је појава да у проводнику у коме постоји струја при утицају спољашњег магнетног поља долази до појаве напона. Утицај спољашњег магнетног поља обезбеђује се помоћу магнета који је постављен на ротирајући елемент. Магнет утиче тако што пролази близу кућишта у коме се налази проводник кроз који протиче струја. Шема повезивања при мерењу брзине обртања са овим елементом дата је на слици 198.



Слика 198. Начин повезивања при снимању излаза сензора са Холовим ефектом

Сензор се састоји из два дела, један део реагује на промену удаљености магнета а други део на промену пола магнета па због тога постоје два излазна сигнала које је потребно мерити. Карактеристика мерених сигнала је дата на слици 199. Жути сигнал је сигнал са првог дела и показује промену магнетног поља услед промене удаљености магнета а плави сигнал представља промену пола магнета.

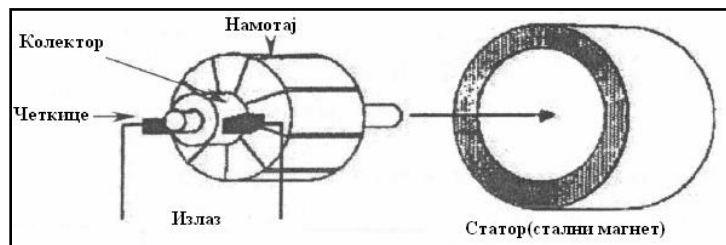


Слика 199. Излазни сигнали сензора са Холовим ефектом

Примећује се на слици 199. да су излазни сигнали инверзни и периодични. То је због тога што је диск са магнетом засечен и дешава се иста појава као код индуктивног сензора.

4.10.5. Тахогенератор, "Tachogenerator"

Шема конструкције тахогенератора је дата на слици 200.



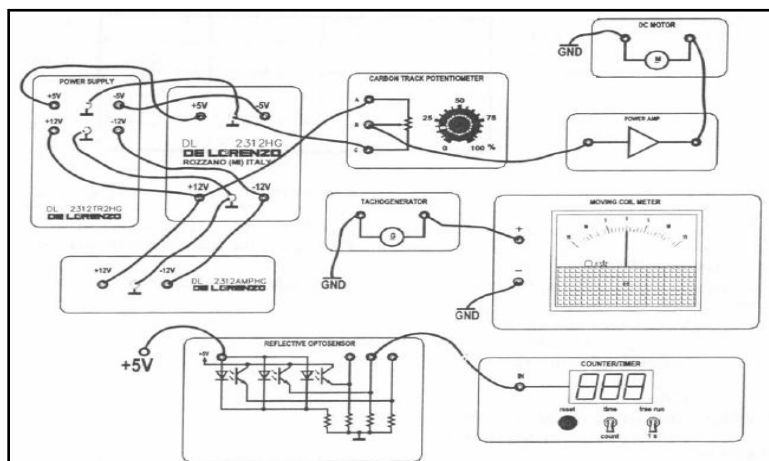
Слика 200. Конструкција тахогенератора

Конструкција тахогенератора је изведена тако што се на вратило (ротор) поставе намотаји, затим се све то постави у кућиште од сталног магнета у коме је могуће да се врши ротација. Вратило је повезано са елементом чија се брзина обртања мери. При ротацији у намотајима на ротору се индукује наизменична електромоторна сила а преко усмеривача од ње се добија једносмерни напон. Вредност електромоторне силе је сразмерна брзини обртања, а поларитет зависи од смера обртања. Карактеристике дате од стране произвођача за овај елемент дате су у табели 26.

Напон на излазу при 1000min^{-1}	1V
Максимални излазни напон	2.4V
Излазна импеданса	$1.5\ \Omega$
Шум излазног сигнала	$V_{pp}=20\text{mV}_{pp}$
Радна фреквенција	50 Hz max

Табела 26. Приказ карактеристика тахогенератора датих од стране произвођача.

При пуштању у рад тахогенератора неопходно је поставити шему као на слици 201.



Слика 201. Шема повезивања при тестирању тахогенератора

Прво је потребно обезбедити напајање за мотор чија се брзина обртања прати. Поред тога користи се и оптелектронски сензор као референтни мерач броја обртаја, и то тако што се сигнал само са средњег (В) прстена диска одводи на бројач где се мери број обртаја. Када је омогућено напајање за мотор и референтни мерач броја обртаја поставља се и тахогенератор. Тахогенератор поседује два контакта. Први контакт пре мерења је потребно повезати са уземљењем уређаја DL2312HG, а други контакт се повезује на позитиван крај аналогног мерача или AI+ терминал NI6008 картице ако се уз њену помоћ врши мерење. Када се све то постави може се почети са мерењем. Резултати мерења могу се наћи у [8].

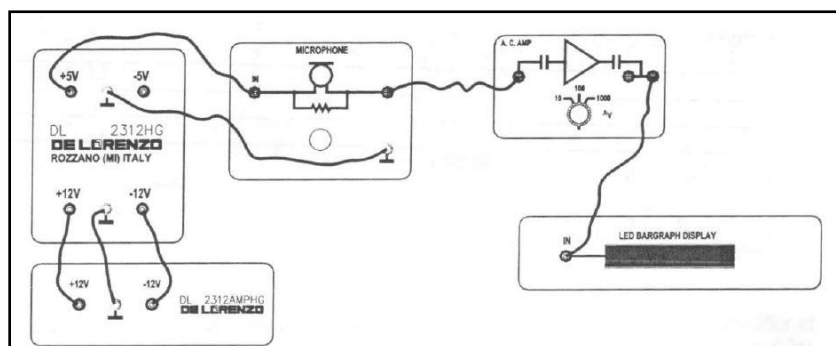
4.11. Сензори звучних сигнала

Сензори звучних сигнала раде тако што карактеристике звучних сигнала претварају у електричне сигнале. Уређај DL2312HG у свом саставу има два сензора који мере звучне таласе, и то су:

1. Микрофон
2. Ултразвучни пријемик

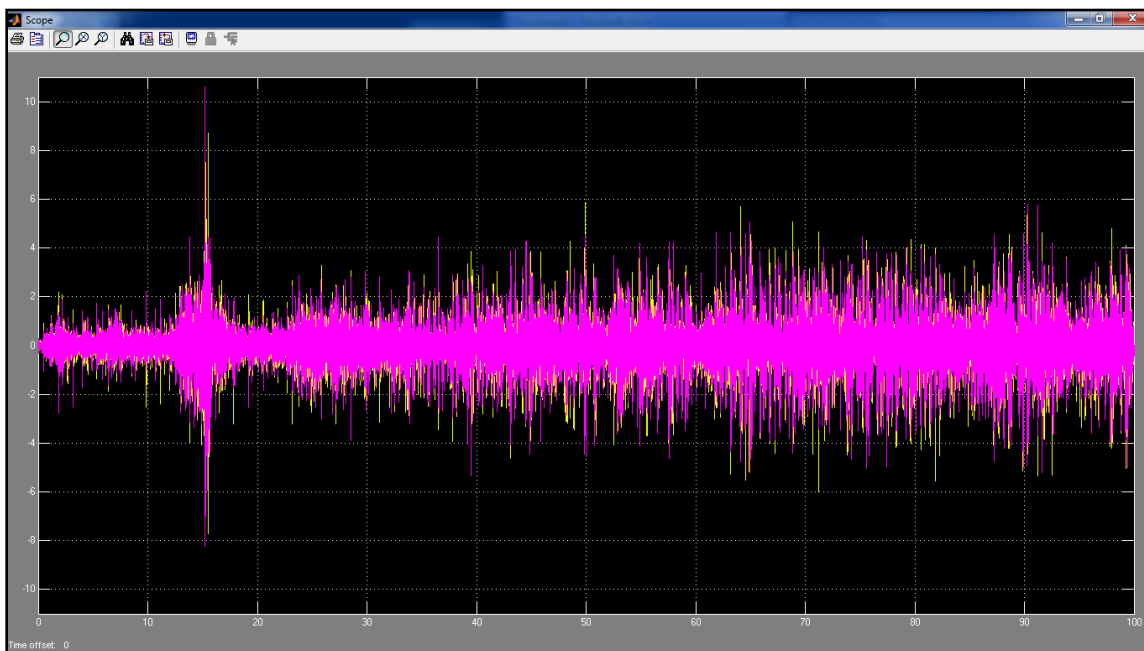
4.11.1 Микрофон, " Dynamic Microphone"

Микрофон на уређају DL2312HG ради тако што звучне сигнале региструје уз помоћ посебно израђеног кондензатора. Оно шта карактерише кондензатор коришћен у микрофону јесте покретна и јако осетљива мембрана која уједно представља и једану од плоча кондензатора. Вибрације које настају променом притиска услед звучног сигнала изазивају померање мембране и тиме промену капацитивности. Услед промене капацитивности долази до промене излазне вредности напона која карактерише звучни сигнал. При мерењу звучних сигнала уз помоћ микрофона потребно је повезати микрофон са остатком кола као на слици 202.



Слика202. Шема повезивања микрофона са остатком кола

На приказаној шеми се види да се користи лед дисплеј, он омогућава мерење тренутне вредности, али да би сигнал био представљен у току времена потребно је да сигнал буде прегледнији у току времена. Зато се препоручује да се сигнал снима помоћу NI6008 картице и неког од компатабилних програмских пакета. На слици 203. је приказан измерени звучни сигнал.



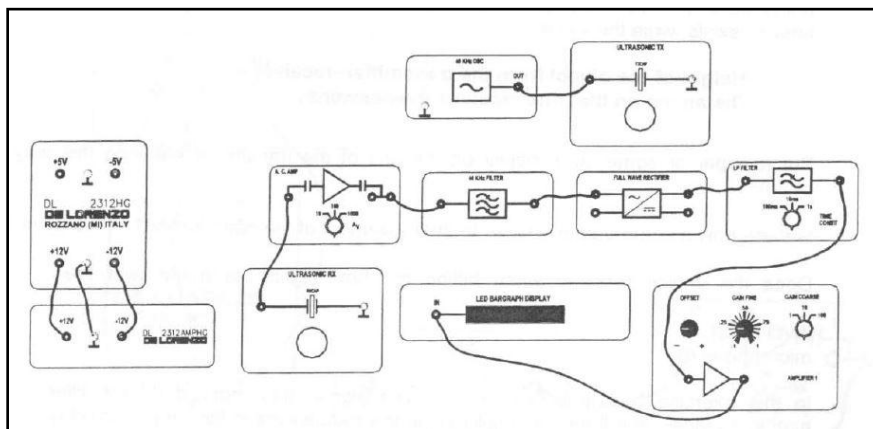
Слика 203. Изглед звучног сигнала за песму "Живот је нека сив некад жут"

4.11.2. Ултразвучни пријемник, "The Ultrasonic Receiver"

Ултразвучни пријемник је специјално релизован пријемник звучних таласа који мери само звучне таласе фреквенције преко 40 kHz.

Ултразвучни пријемник у оквру DL2312HG је састављен од кућишта, пиезокерамичког елемента на коме се налази мембрана која вибрира под утицајем звучних таласа и при томе притиска пиезокерамички елемент на коме се услед притиска јавља електрицитет. Визуализацијом промене наелектрисања добијају се карактеристике звучног сигнала.

Шема коришћења ултразвучног пријемника је дата на слици 204. Ипак, због чињенице да у састав кола улази и ултразвучни предајник, о карактеристикама сигнала више речи ће бити касније.



Слика 204. Шема повезивања при коришћењу ултразвучног пријемника

У упутству се налаже да се ултразвучни пријемник повезује на А.С. појачавач (x100), па затим тај сигнал иде на низ филтера и на крају још једном се појачава (x50) и на крају на мерни инструмент.

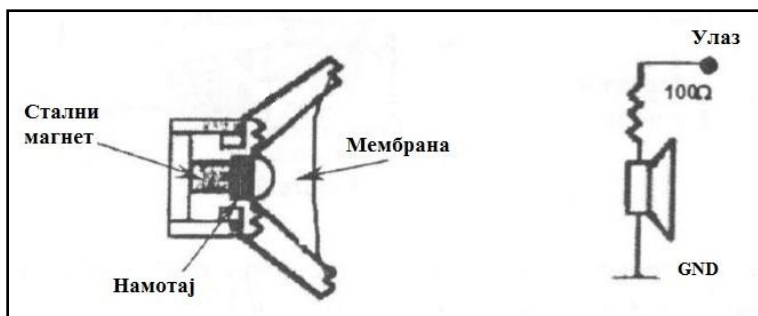
4.12. Елементи чији је излазни сигнал звучни талас

У оквиру уређаја DL2312HG могу се наћи три елемента чији је излазни сигнал звучни талас, и то су:

1. Звучник
2. Ултразвучни предајник
3. Зујалица

4.12.1 Звучник, "Moving Coil Speaker"

На слици 205. представљена је шема конструкције звучника као и начин његовог укључивања у коло.



Слика 205. Шема конструкције звучника и његово укључење у коло

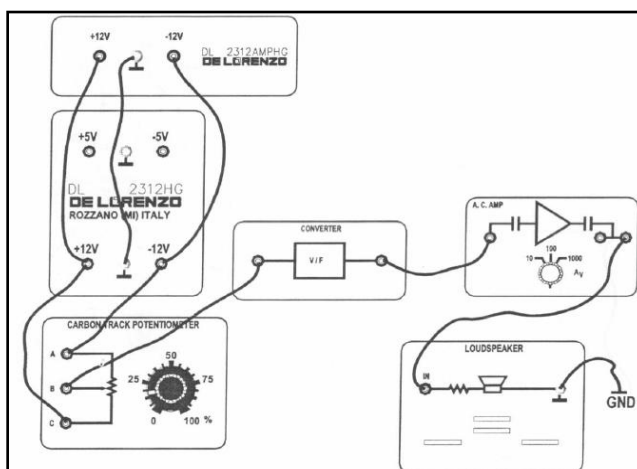
Звучник се састоји од покретне мембране, сталног магнета, намотаја. Под утицајем променљивог улазног напона калем се помера и својим померањем изазива вибрације

мембране која ствара звучне сигнале у подручју од 50Hz до 20kHz. Карактеристике које је произвођач дао су дате у табели ж22.

Импеданса	8 Ω
Снага	200mW max
Фреквенцијски одзив	150-5000Hz

Табела ж22. Карактеристике звучника.

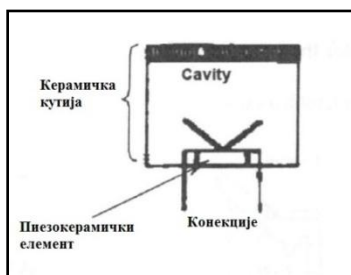
За испитивање овог елемента вежба која је дата од стране произвођача није препоручива јер ако се погледа шема на слици 206. на којој је дато повезивање кола у вежби, види се да је коришћен V/F конвертор који чија излазна фреквенција превазилази фреквенцијски опсег звучника. Уместо V/F конвертора може се користити аларм осцилатор који има излазну фреквенцију од 550Hz.



Слика 206. Коло за тестирање дато од стране произвођача чија употреба се не препоручује.

4.12.2. Ултразвучни предајник, "The Ultrasonic Transmitter"

Шема конструкције ултразвучног пријемника се види на слици 207 и види се да је врло слична ултразвучном пријемнику. Разлика је у томе што трансмитер има мању улазну импедансу па може да створи већу излазну карактеристику.

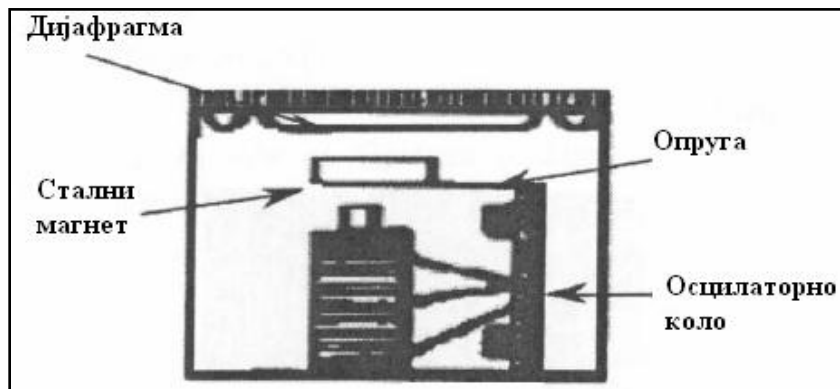


Слика 207 Конструкција ултразвучног предајника

Да би радио ултразвучни предајник мора да буде повезан са 40 kHz осцилатором. То се види на слици 0.172 где је повезан са њим. И служи као извор сигнала који региструје ултразвучни пријемник. Овиме се употпуњује објашњење шеме на слици 0.172.

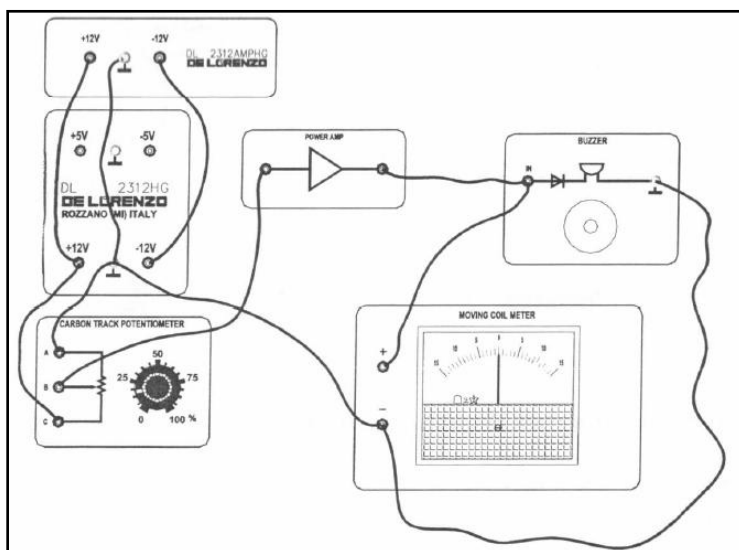
4.12.3. Зујалица, "Buzzer"

На слици 208. се види конструкција buzzer-a.



Слика 208. Конструкција Buzzer-a

Buzzer се састоји до осцилаторног кола, опруге на којој се налази стални магнет и од дијафрагме. Преко осцилаторног кола, делује се на стални магнет који се још уз помоћ опруге креће, вибрира. Вибрације су константне и преносе се на дијафрагму која ствара звучне таласе. Пример реализације кола са buzzer-ом је дат на слици 209.

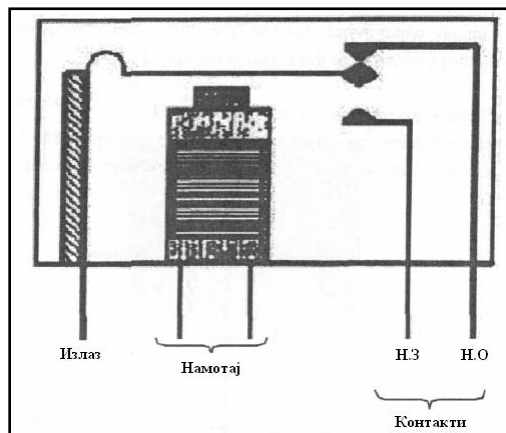


Слика 209. Коло за покретање buzzer-a

Исто ово коло може да се користи и без појачавача снаге. Јачина звука расте са повећањем напона.

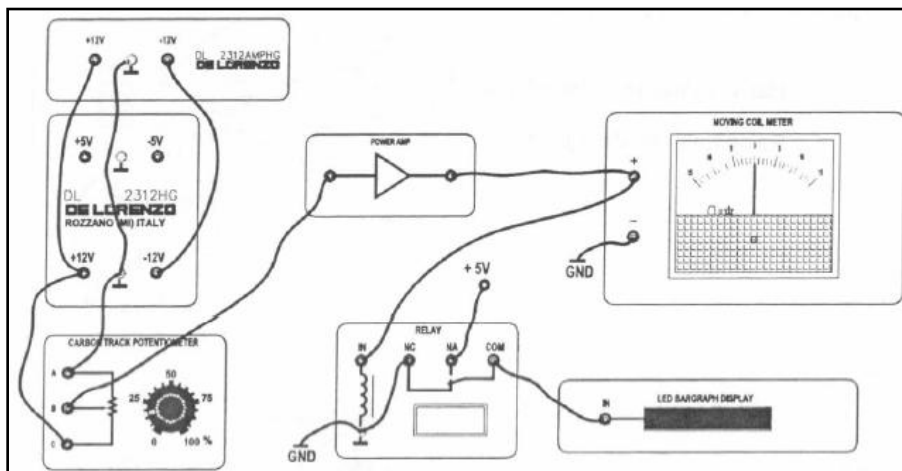
4.13. Карактеристике релеа који се налази на уређају DL2312HG.

Основна шема конструкције релеа је дата на слици 210. Основни елемент је намотај са металним језгром. Поред тога ту су још и метална трака која је везана за опругу изнад намотаја. Када намотај није изложен напону он није намагнетисан и тада је трака у једном положају. Када се намотај изложи напону он се намагнетише и тада привуче траку која у том тренутку раскине контакт у коме је била и веже се за други контакт.



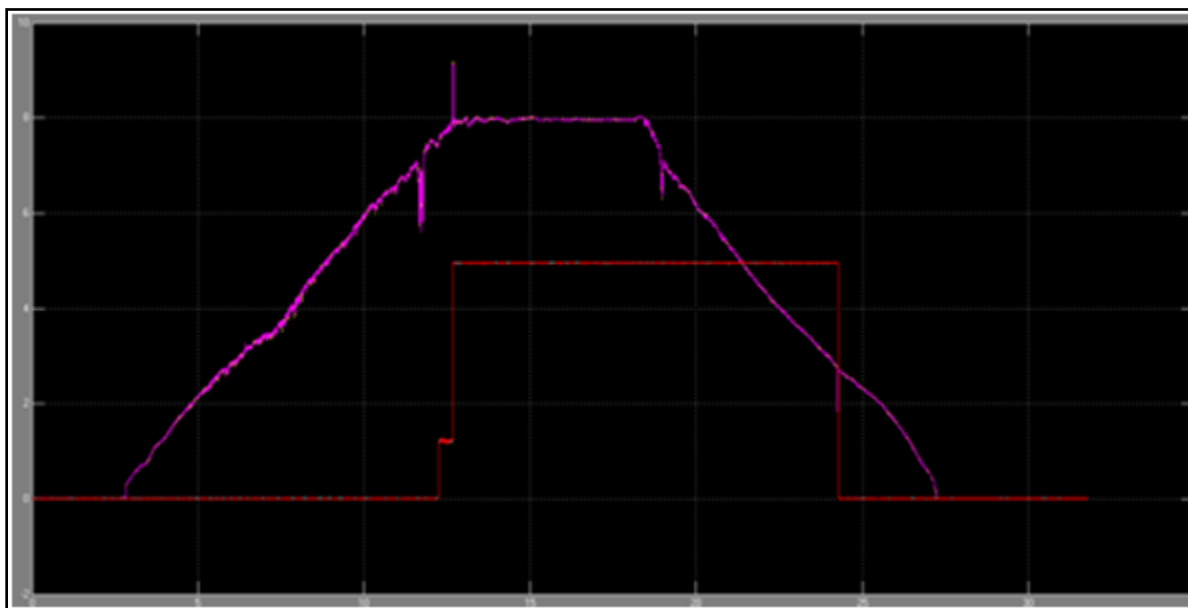
Слика 210. Шема конструкције релеа

Да би се снимила карактеристика релеа датог у оквиру уређаја DL2312HG потребно је повезати коло као на слици 211.



Слика 211. Шема повезивања релеа са остатком кола

Са слике се уочава да се вредност напона подешава преко потенциометра. Подешена вредност напона се одводи на појачавач снаге (може а и не мора). Са појачавача снаге се сигнал даље одводи на улаз у релеа. Потребно је још довести напон од 5V на NC контакт. Мерење се обавља по стандардном поступку. Резултати мерења су дати на слици 212.



Слика 212. Изглед карактеристике релеја

На слици 212. љубичасти знак представља излазни сигнал са потенциометра а црвени сигнал напон на крајевима релеа. Такође се може јасно уочити карактеристика релеа. Док напон на улазу не достигне 8V стање релеа се не мења. Након тога трака је повучена због дејства магнета и променила је контакт. Тиме је затворено коло и јавља се излазни напон од 5V. Када се напон на улазу смањује, промена контакта се не дешава као и при улазној карактеристици, наиме до промене долази тек када напон падне на 3V и та појава представља хистерезис.

5. Закључак

У овом завршном раду је обрађена тема аквизације и визуализације сигнала лабораторијског система DL2312HG. Сигнали са појединачних елемената су разматрани а након тога, описивана су слженија кола са више међусобно повезаних елемената. Кроз проучавање елемената система DL2312HG стечен је увид у практичну примену електронских кола и елемената.

Да би сигнали могли да се визуализују коришћена је NI USB 6008 конверторска картица и програмски пакети Matlab и LabView. Описан је начин повезивања хардверских и софтверских компонената, назначени су параметри који се могу подешавати приликом мерења. Поред тога показане су шеме аквизације сигнала у зависности од природе сигнала.

За сваки елемент елемент је упоређивана теоријска карактеристика са реалном и описани су разлози због којих долази до евентуалних одступања.

Овај рад представља одличан крај основних студија на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, јер ми је кроз њега пружена прилика за сумирање знања из више предмета слушаних током студија као и за практичну примену истих. Пружен ми је битан увид у разлику између теорије и практичног дела. За период од пар месеци колико је укупно трајала израда завршног рада стекао сам нова знања и проширио већ постојећа и на томе бих посебно захвалио ментору, проф. др Милану Матијевићу за несебично дељење свог знања и искуства и што ми је пружио прилику да прођем кроз ову тему. Још бих се захвалио сарадници дипл. инж. Мини Васковић и колеги инж. Марку Јуришевићу за њихову велику подршку и помоћ у раду, и на њиховој позитивној енергији уз коју рад не представља проблем. На крају бих се захвалио породици, пријатељима и посебно девојци Софији, на подршци и разумевању коју су ми пружили.

Литература:

- [1] Transducer Trainer DL2312HG, Theoretical Guide;
- [2] Transducer Trainer DL2312HG, Practical Guide;
- [3] Милан Матијевић, Горан Јакуповић, Јелена Цар, Рачунарски подржано мерење и управљање, Машински факултет у Крагујевцу, 2008;
- [4] Александар Грујовић, Електроника аутомобила, Машински факултет у Крагујевцу, 2008;
- [5] Срђан Станковић, Радомир-Мато Лаковић, Електроника, Електротехнички факултет у Подгорици, 1999;
- [6] Signal Procesing for Communication, Paolo Prandoni, Martin Vetterli, 2008;
- [7] User Guide And Specifications NI USB -6008/6009;
- [8] Милош Милановић, Испитивање сензора и актуатора лабораторијског система DL2312HG, Завршни рад, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2013;
- [9] Марко Тодоровски, Рачунарска подршка у извођењу експеримената и анализа резултата мерења, Дипломски рад, Машински факултет у Крагујевцу, 2010;
- [10] Александар Грујовић, Основи теорије мерења, Машински факултет у Крагујевцу, 1999;