

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**

Слађана Д. Алуровић
Мерно – управљачки систем са
серијском комуникацијом за
одржавање константне радне
температуре клипног компресора
Мастер рад

Крагујевац, 2017.

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Информатика у инжењерству

Предмет: Теорија и техника мерења

Број индекса: 381/2015

Слађана Д. Алуровић

**Мерно – управљачки систем са
серијском комуникацијом за
одржавање константне радне
температуре клипног компресора
Мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Драган Тарановић - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада са темом “Мерно – управљачки систем са серијском комуникацијом за одржавање константне радне температуре клипног компресора” кандидат треба да прикаже:

Основне параметре регулације радне температуре клипног компресора помоћу стандардних микропроцесорских терморегулатора. Основне параметре микропроцесорског управљања терморегулатором. Повезивање терморегулатора са персоналним рачунаром помоћу серијске комуникације. Основне параметре серијске комуникације. Повезивање терморегулатора са персоналним рачунаром и реализација одговарајућег корисничког интерфејса помоћу програмског пакета LabView. Интеграцију реализованог интерфејса у лабораторијски систем за испитивање компресора. Мерење температуре, аквизиција измерених података и графички приказ измерених података.

Препоручена литература:

- [1] Упутство за рад са терморегулатором ХМТ-808.
- [2] Упутство за рад са серијском комуникацијом помоћу Modbus и Aibus протокола.
- [3] Грујовић А., Грујовић Н.: *Техничка мерења II - Основи технике мерних средстава*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2005.
- [4] Park J., Mackay S.: *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*, Newnes, LinacreHouse, Jordan Hill, Burlington, 2003.

Крагујевац, 01.07.2017.

Ментор:
Др Драган Тарановић, доцент

Резиме рада:

За лабораторијска испитивања компресора неопходно је да се одржава константна радна температура компресора и да се подаци о измереној температури сачувају. У првом делу рада описани су регулатори температуре. Затим следи опис серијске комуникације која обухвата паралелни пренос података, серијски пренос података и начин комуникације између предајника и пријемника. Наведена су два формата информација, RS232 комуникациони стандард и RS485 комуникациони стандард. Дат је опис комуникационих параметара регулатора температуре. У другом делу рада приказан је пример повезивања терморегулатора са програмским пакетом LabVIEW, као и остварена серијска комуникација. На крају је описано лабораторијско мерење температуре компресора, као и приказ резултата мерења.

Кључне речи:

Регулатори температуре, серијска комуникација, RS232 комуникациони стандард, RS485 комуникациони стандард, LabVIEW.

Summary of work:

For laboratory testing of the compressor is necessary to maintain a constant operating temperature of the compressor and the data of the measured temperature to be stored. The first part of the work describes the temperature controllers. The following is a description of the serial communication, which includes parallel data transmission, serial data transmission and the method of communication between the transmitter and the receiver. The two formats of information are listed, RS232 communication standard and RS485 communication standard. The description of the communication parameters of the temperature controller are given. The second part of the work shows an example of connection thermoregulator with LabVIEW program, and realized serial communication. At the end of the work laboratory temperature measurement of the compressor are described, as well as the display of the measurement results.

Key words:

Temperature controller, serial communication, RS232 communication standard, RS485 communication standard, LabVIEW.

Изјава о самосталној изради рада

Изјављујем да сам овај мастер рад урадила самостално, служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном литературом.

381/2015 Слађана Д. Алуровић

(потпис)

Садржај:

1. Увод.....	1
2. Регулатори температуре.....	3
2.1. Врсте регулатора температуре.....	4
2.1.1. Алгоритам PID контролера.....	8
2.1.2. Динамичке карактеристике система.....	9
2.2. Отпорнички давачи температуре.....	10
2.2.1. Карактеристике RTD – а.....	11
2.2.2. Линеарност RTD – а.....	12
2.2.3. Мерне спреге RTD давача.....	12
3. Серијска комуникација.....	16
3.1. Паралелни пренос података.....	16
3.2. Серијски пренос података.....	17
3.3. Начини комуникације између предајника и пријемника.....	18
4. Формат информације.....	20
4.1. RS232 комуникациони стандард.....	21
4.1.1. Повезивање RS232 комуникационог стандарда.....	22
4.2. RS485 комуникациони стандард.....	24
5. Комуникациони параметри терморегулатора.....	26
5.1. Aibus комуникациони протокол.....	26
5.1.1. Писање поруке.....	27
5.1.2. Повратна порука.....	29
5.2. Програмирање.....	31
6. Повезивање терморегулатора са програмским пакетом LabVIEW.....	32
6.1. LabVIEW.....	32
6.2. Серијска комуникација помоћу програма LabVIEW.....	33
7. Лабораторијско мерење и приказ резултата мерења.....	39
8. Закључак.....	43
Литература.....	44

1. Увод

Производња компримованог ваздуха у кочним системима возила врши се помоћу компресора који добија погон од стране погонског мотора возила. Уобичајено је да се користе клипни компресори са једним или два цилиндра за чији погон је потребно око 4 kW снаге погонског мотора при чему је номинални број обртаја погонског вратила до 3000 min^{-1} . Хлађење компресора може да буде расхладним флуидом или ваздухом.

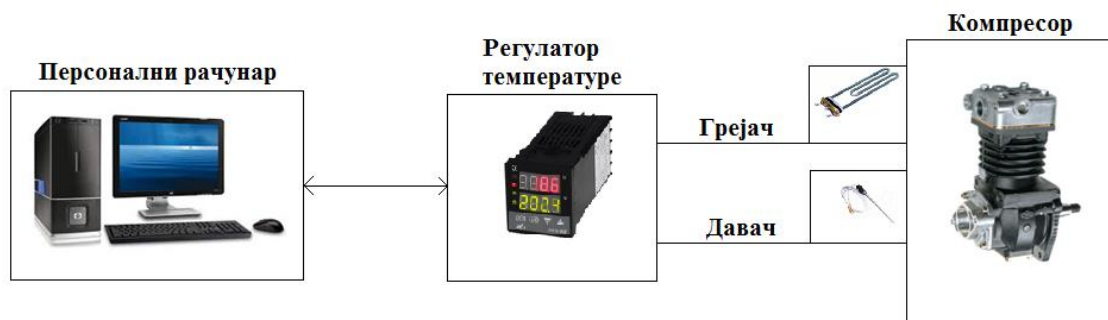
Испитивање компресора у лабораторијским условима захтева да се постигну радни услови који су идентични условима на возилу. У нормалним условима компресор се загрева од стране возила, али у случају лабораторијских испитивања, ово загревање се врши грејачем.

Радне услове које је потребно обезбедити за рад референтног компресора ван моторног возила су:

- *Подмазивање клипне групе компресора.* У раду на моторном возилу подмазивање се врши системом за подмазивање мотора моторног возила. Док се у лабораторијским условима подмазивање клипне групе постиже уградњом циркулационе хидрауличне пумпе која узима уље из кућишта компресора, подиже му притисак и затим помоћу млазница уље прска на клипну групу. Вишак уља се враћа у кућиште компресора. Количина уља којом се прска клипна група регулише се притиском који ствара хидраулична пумпа.
- *Хлађење компресора струјом ваздуха.* На моторном возилу компресор се хлади струјањем ваздуха при кретању возила или системом за хлађење мотора. У лабораторијским условима хлађење референтног компресора врши се струјом ваздуха узетог из околине, а која се добија помоћу вентилатора.
- *Грејање уља за подмазивање.* Уље у компресору се греје при загревању мотора. Уколико нема мотора грејање уља је споро и потребно га је загревати додатним електричним грејачима који су уграђени у кућиште компресора.

Главни циљ овог рада је да клипни компресор достигне задату температуру и да се након тога та температура одржи као константна радна температура клипног компресора.

У оквиру овог рада дата је реализација система за загревање уља компресора са терморегулатором и повезивање програмског пакета LabVIEW са регулатором температуре помоћу серијске комуникације, ради аквизиције измерених података и графичког приказивања резултата.



Слика 1. *Поступак остваривања серијске комуникације*

Помоћу програмског пакета LabVIEW који је инсталиран на персоналном рачунару вршимо серијску комуникацију са терморегулатором. Серијска комуникација је веома важан сегмент овог рада и представља пренос података бит по бит преко јединственог вода или комуникационог канала. У оквиру рада детаљно су описана два најпопуларнија и најчешћа стандарда интерфејса која се користе у прикупљању података и контролним системима (RS-232 и RS-485), као и формат информације.

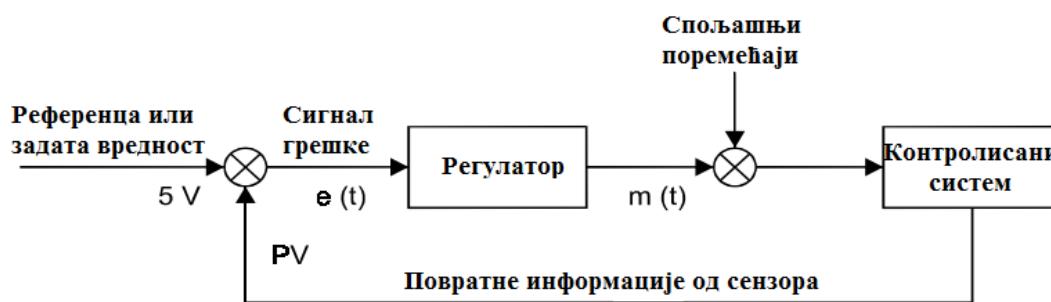
Основна функција регулатора температуре је да упореди стварну температуру са задатом температуром и да произведе излаз који ће одржавати ту задату температуру. Регулатор температуре је један део од целокупног система контроле, а цео систем треба анализирати при избору одговарајућег регулатора.

Регулатор температуре је повезан са отпорничким температурним давачем (RTD) који мери температуру компресора. То су сензори температуре који су генерално направљени од чистог (или благо допираног) метала чији се отпор повећава са порастом температуре (позитивна отпорност коефицијента температуре). Такође је повезан са грејачем који је задужен за загревање компресора како би се постигла задата температура.

2. Регулатори температуре

Регулатори температуре су уређаји који се користе за контролу температуре, углавном без ангажовања оператора. Регулатор у систему контроле температуре има сензор температуре, као што је термопар или RTD, као улаз и упоређује стварну температуру са жељеном температуром односно са задатом вредношћу. То обезбеђује излаз на управљачком елементу [1].

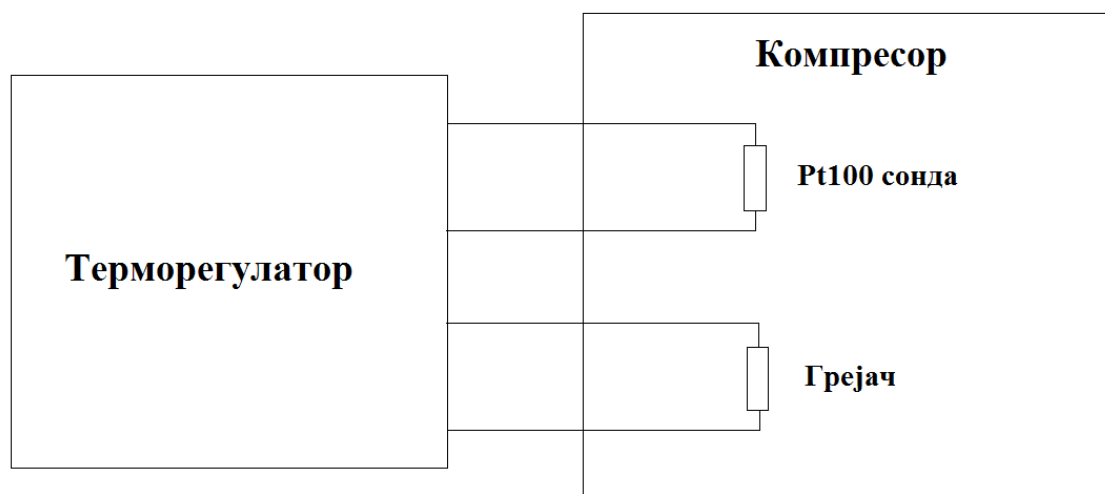
Регулација температуре је систем који ради у затвореној петљи. Затворена петља управљачког система је она у којој управљање зависи од излаза. У овој врсти управљачког система постоје повратне информације из управљачког процеса које утичу на управљачки сигнал. На слици 2 је дата блок шема рада система у затвореној петљи.



Слика 2. Блок дијаграм затворене петље контролног система [2]

Најважније карактеристике управљачког система у затвореној петљи су:

- повећана прецизност,
- осетљивост улазног / излазног односа (преносна функција) због варијација у карактеристикама система се смањује,
- смањени ефекти нелинеарности,
- повећан фреквенцијски опсег,
- смањење склоности ка осцилацијама и нестабилношћу [2].



Слика 3. Блок шема повезивања терморегулатора и компресора

Добар пример регулације температуре је апликација у којој регулатор за улаз има сензор температуре и има излаз који је повезан са управљачким елементом као што је грејач или вентилатор [1]. На слици 3 је приказана блок шема повезивања терморегулатора са грејачем којим се испитни компресор доводи на жељену температуру.

Регулатор је један део од целокупног система управљања, а цео систем треба анализирати при избору одговарајућег регулатора. Следеће ставке треба узети у обзир приликом избора регулатора:

1. врста улазног сензора (термопар, RTD, картице и температурни опсег),
2. постављање сензора,
3. потребан управљачки алгоритам (on/of, пропорционални и PID регулатори, самоподешавајући PID регулатори),
4. врста излазног елемента (електромеханички релеј, SSR, аналогни излазни сигнал),
5. додатни излази или захтеви система (приказ температуре и / или радне тачке, излази за хлађење, аларми, ограничења, рачунарска комуникација, итд) [3].

2.1. Врсте регулатора температуре

Постоје три основне врсте регулатора температуре са грејачем: on-off, пропорционални и PID. У зависности од система који се контролише, оператор може да користи једну или другу врсту и тако да контролише процес [1].

1. On/off регулатори

On/off регулатор је најједноставнији облик контроле температуре. Излаз из уређаја је или укључено или искључено. On/off регулатор ће променити излаз само када

температура прелази задату вредност. За контролу загревања, излаз on је када је температура испод задате вредности, и off када је изнад задате вредности [1].

Овај регулатор има мртву зону (хистерезис). Задата вредност је обично у центру мртве зоне. Стога, ако је улазни опсег 0-100°C, радна тачка је подешена на 50°C, а хистерезис подешен на 1°C излаз ће бити укључен (on) када је температура 49°C или испод и остаће on све док температура достиже 51 °C, после чега ће излаз бити искључен (off). Остаће off све док температура не падне испод 49°C [3].

Температура пролази задату вредност како би променила стање излаза. Температурни процес кружи непрекидно, иде изнад задате вредности на горе, а затим назад испод. У случајевима када се промена температуре јавља брзо да би се спречило оштећење контактора и вентила, повећава се хистерезис [1].

Контрола on-off се обично користи када није потребна прецизна контрола, на пример, у системима који не могу да поднесу да се енергија укључује и искључује често, где је маса система толико велика да се температура мења веома споро, или за температурни аларм [3].

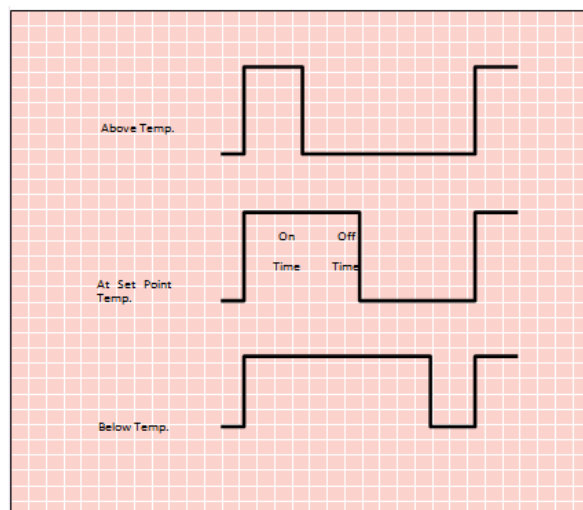
Једна посебна врста контроле on-off која се користи за аларм је гранични регулатор. Овај регулатор користи релеје који се морају ручно ресетовати, и користи се за затворени процес када је одређена достигнута температура [3].

2. Пропорционални регулатори

Пропорционалне контроле (слика 4) су дизајниране да елиминишу кружно стање које је повезано са контролом on-off. Како се температура приближава подешеној тако пропорционални регулатор смањује просечну снагу која се шаље грејачу. Ово има ефекат успоравања грејача, тако да неће премашити задате вредности, али ће прићи задатим вредностима и одржавати стабилну температуру. Ова пропорционална акција се може постићи тако што излаз on и off мењају у кратким временским интервалима [1]. Ово "пропорционално време" варира у односу на "on" време и "off" време које контролише температуру [3]. Овај начин регулације се назива и ширинска импулсна модулација.

Временски период између два узастопна паљења је познат као "време циклуса" или "радни циклус". Пропорционална акција се јавља унутар "пропорционалног опсега" око подешене температуре. Изван опсега, функције регулатора као јединице on-off, са излазом или у потпуности on (испод опсега) или у потпуности off (изнад опсега). Међутим, у оквиру опсега, излаз се укључује и искључује у односу на разлике мерења од задате вредности. На радној тачки (средиште пропорционалног опсега), однос излаза on-off је 1: 1 то јест, on-време и off-време су једнаки. У зависности од разлике температуре и подешене температуре, on и off варирају сразмерно разлици

температуре. Ако је температура испод подешене вредности, излаз ће бити on. Ако је температура сувише висока, излаз ће бити off [3].



Слика 4. Пропорционална контрола [3]

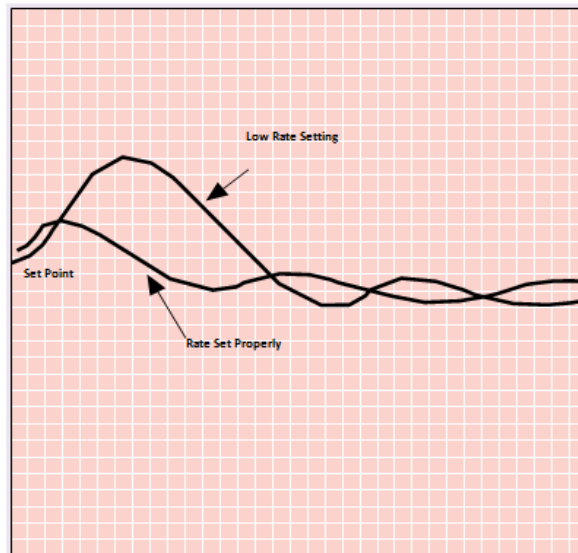
Пропорционални опсег је обично изражен као проценат потпуног улазног опсега на скали или у степенима. Такође може бити дефинисан као појачање, што је обрнуто пропорционално опсегу. У многим терморегулаторима, време циклуса и/или пропорционална ширина опсега су подесиве, тако да регулатор може боље одговарати одређеном процесу.

Пропорционални регулатори имају аутоматско ресетовање, које се може користити за подешавање компензације између стационарног стања температуре и задате вредности.

Осим електромеханичких и релејних излаза, пропорционални регулатори су доступни са пропорционалним аналогним сигналом излаза, као што је 4 до 20 mA или 0 до 5 Vdc. Са овим резултатима, стварни излазни ниво амплитуде варира, али не и однос између on и off [3].

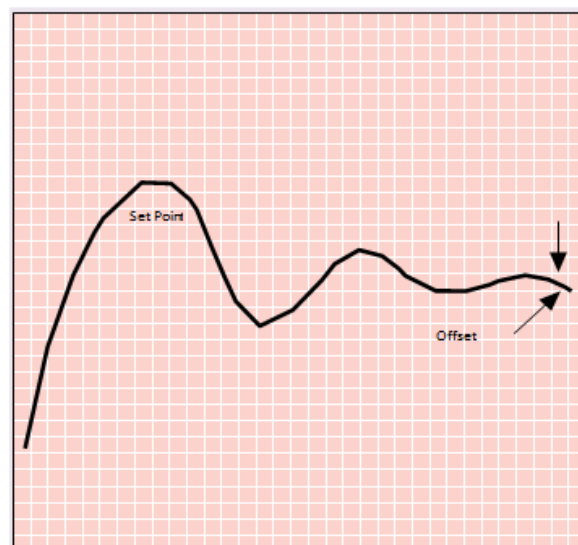
3. Пропорционални, интегрални и диференцијални режим рада (PID)

Овај регулатор функционише исто као пропорционални регулатор, осим што се функција управљања аутоматски прилагођава од стране регулатора. Хистерезис не постоји.



Слика 5. Диференцијални део компензује брзе промене [3]

Диференцијални део (слика 5) управљања компензује промене оптерећења које се одвијају брзо. На пример пећ која се снабдева производом повремено. Када производ уђе у пећ, постоји нагла потреба за топлотом, а када потреба престане, постоји вишак топлоте. Диференцијални део смањује смањење и прескок температуре под овим условима и спречава настанак лошег производа због више или мање очвршћавања.



Слика 6. Интегрални део елиминише одступање [3]

PID контрола обезбеђује тачнију и стабилнију регулацију него on/off или пропорционална регулација. То се најбоље користи у системима који имају релативно малу масу и који брзо реагују на промену енергије која је додата у процесу. Препоручљива је у системима где се оптерећење често мења. Од регулатора се очекује да аутоматски надокнади количину енергије која је на располагању или масу која се контролише, због честих промена задатих вредности. Пропорционални, интегрални (слика 6) и диференцијални параметри морају бити "подешени", тј, прилагођени

одређеном процесу. То се ради мерењима и одређивањем грешке регулације. Неки регулатори (тзв. самоподешавајући регулатори) покушавају да аутоматски подесе PID параметаре [3].

2.1.1. Алгоритам PID контролера

Један ефективан метод израчунавања потребног излаза регулатора $m(t)$ за дати процес, јесте алгоритам PID (пропорционални, интегрални и диференцијални) регулатора, који се састоје од четири члана.

Системи управљања могу бити временски континуални и дискретни. За континуалне системе управљање је:

$$m(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt} + Bias$$

Где су:

$m(t)$ – излаз регулатора,
 K_p – пропорционални члан (l/sec),
 K_i – интегрални члан (l/sec),
 K_d – диференцијални члан (sec),
 $e(t)$ – сигнал грешке (SP – PV),
 "Bias" – константа система.

За дискретне системе управљање је:

$$m(i) = K_p e(i) + T \times K_i \sum_{k=0}^{k=i} e(k) + K_d \times \frac{[e(i) - e(i - 1)]}{T} + Bias$$

Где је:

$m(i)$ – излаз у i -том тренутку ($= i * T$),
 K_p – пропорционални члан (l/sec),
 K_i – интегрални члан (l/sec),
 K_d – диференцијални члан (sec),
 T – временски интервал узорковања,
 i – број узорака,
 $e(i)$ – грешка i -тог узорковања,
 $e(i - 1)$ – грешка $(i - 1)$ -ог претходног узорковања,
 "Bias" – константа система.

Пропорционални члан ових једначина је директно пропорционалан тренутној грешци процеса. Вредност пропорционалног члана (K_p) одређује како систем реагује на разлике између задате и стварне вредности управљане величине процеса.

Пропорционално управљање не може узети у обзир промене оптерећења у процесу који је под контролом. Ово се остварује путем интегралног дела PID једначине, који сумира дугорочну грешку (m) у систему и додаје корекцију вредности излаза контролера, сразмерно интегралном члану (K_i).

Брзина промене грешке процеса је компензована од стране диференцијалног дела управљања. То резултира много бржим одзивом процеса.

Уколико се грешка повећава, диференцијални члан доприноси позитивној корекцији на излазу, величина корекције је пропорционална брзини повећања грешке. Насупрот томе, када се грешка смањује, диференцијални члан је негативан. Ако је велика брзина промене излаза диференцијални члан смањује излаз из регулатора чиме је излаз пригушен [2].

2.1.2. Динамичке карактеристике система

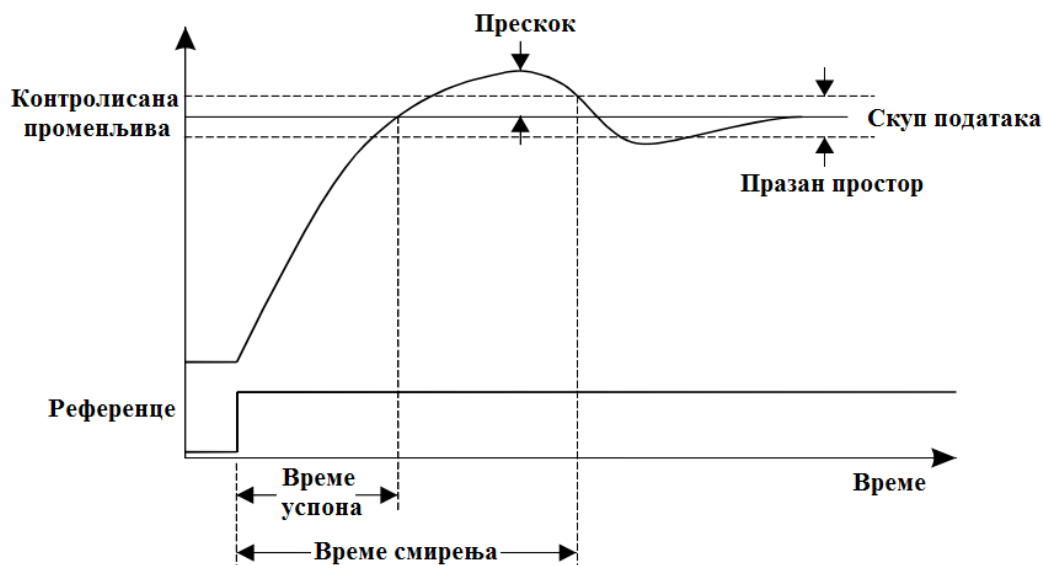
Одговор система у затвореној петљи на одговарајућу побуду је познат као одзив система. Ово је илустровано на слици 7. Одзив система даје увид у прелазне процесе, посебно о брзини одговора и релативној стабилности. Најчешће се посматра одговор система на одскачну функцију.

Прескок је максимална разлика између прелазног и стабилног стања одговора управљачког система. То је мера релативне стабилности.

Време успона се дефинише као време потребно да излазна величина за побуду у облику одскачне функције расте од 10% до 90% од његове коначне вредности.

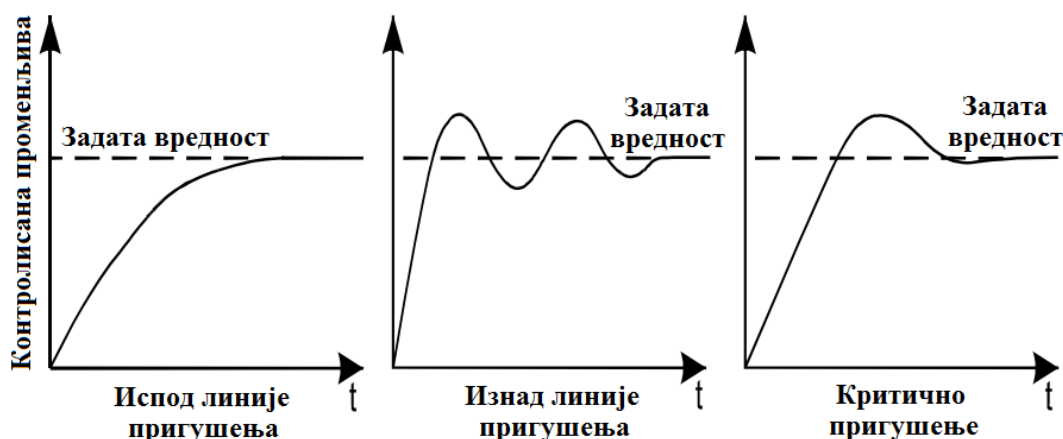
Време смирења се дефинише као време потребно да одзив система на одскачну функцију достигне и остане у одређеном проценту коначне вредности (стабилно стање).

Вредности времена успона и времена смирења указују на брзину одзива система [2].



Слика 7. Одзив система у затвореној петљи [2]

Вредности K_p , K_i и K_d утичу на карактеристике одзива система. То је приказано на слици 8.



Слика 8. Ефекти пригушења о кораку одговора на систем затворене петље [2]

2.2. Отпорнички давачи температуре

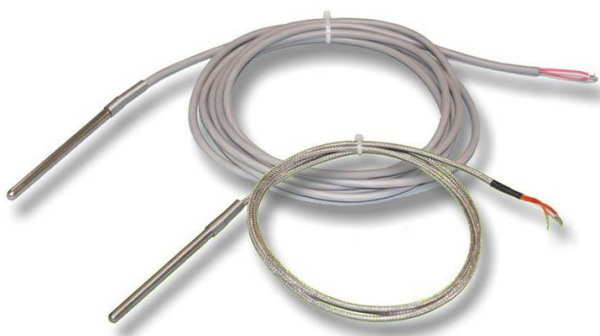
Отпорнички температурни давачи, RTD, (од **R**esistance **T**emperature **D**etector) су давачи температуре који су генерално направљени од чистог (или благо допираног) метала чији се отпор повећава са порастом температуре (позитивни температурни коефицијент отпорности).

Већина RTD давача су или у облику жице или су у виду металног филма. Давачи жице су у суштини дугачке жице намотане око неутралног језгра који је смештен у заштитни омотач. Метални филм RTD-а су давачи у којима су осетљиви елементи постављени на

керамичкој подлози у виду цик-цак металне траке дебљине од неколико микрометара. Ласер који прецизно сече металну траку контролише отпорност. Велико смањење величине са повећаном отпорношћу коју ова конструкција омогућава, даје много мању топлотну инерцију, што резултира бржом реакцијом и добром осетљивошћу. Ови отпорници обично коштају мање од жичаних RTD-а [2].

Најквалитетнији отпорнички давачи температуре су од платине, јер имају најстабилнију линеарну карактеристику у широком температурном подручју, отпорни су на различите хемијске супстанце, не оксидирају и применљиви су за мерење високих температура.

Отпорнички давачи направљени од платине који имају отпорност $100\ \Omega$ на 0°C називају се Pt100 давачи (слика 9). Ти давачи поседују изузетно повољне особине и користе се за, опсег мерења од -260°C до 650°C [4].



Слика 9. RTD Pt100 давачи [4]

Типичне тачности ових давача су 0,2%, 0,1% и 0,05% на 0°C . Што је већа тачност већа је и цена.

2.2.1. Карактеристике RTD – а

Најпопуларнији RTD давач је филм од платине Pt100 (DIN 43760 стандард), са номиналном отпорношћу од $100\ \Omega \pm 0,1\ \Omega$ на 0°C . Платина се обично користи за RTD даваче због своје стабилности у широком температурном опсегу (-270°C до 650°C) и због његових прилично линеарних карактеристика отпорности. Волфрам се понекад користи при веома високим температурама. Користе се и RTD давачи од никла који имају обично велику отпорност ($1000\ \Omega$). Ако RTD елемент није механички оптерећен (то такође мења отпорност проводника), и није загађен нечистоћама, давачи су стабилни током дужег периода, поуздани и тачани [2].

2.2.2. Линеарност RTD – а

У поређењу са другим мерним уређајима температуре као што су термопарови и термистори, промена отпорности неког RTD-а у односу на температуру је релативно линеарна у широком температурном опсегу, показујући само врло малу нелинеарност изнад радног температурног опсега. Иако се прецизнији однос може израчунати помоћу криве уградње - Callendar-Van Dusen полиноми једначине се често користе - мада обично нису потребни. Пошто је грешка уведена апроксимацијом да је промена отпорности од температуре линеарна занемарљива, произвођачи обично дефинишу температурни коефицијент RTD-а, познатог као алфа (α), изразом:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \times R_0} \Omega/\Omega/^\circ\text{C}$$

Где су:

R_0 = отпорност на 0 °C

R_{100} = отпорност на 100 °C

Температурни коефицијент представља промену отпорности RTD-а од 0°C до 100°C, подељен са отпором на 0°C, и подељен са опсегом промене температуре 100°C.

Из израза алфа (α) лако је закључити да се отпорност RT једног RTD-а, на температури T може наћи из израза:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

Где је:

R_0 = отпорност на 0°C

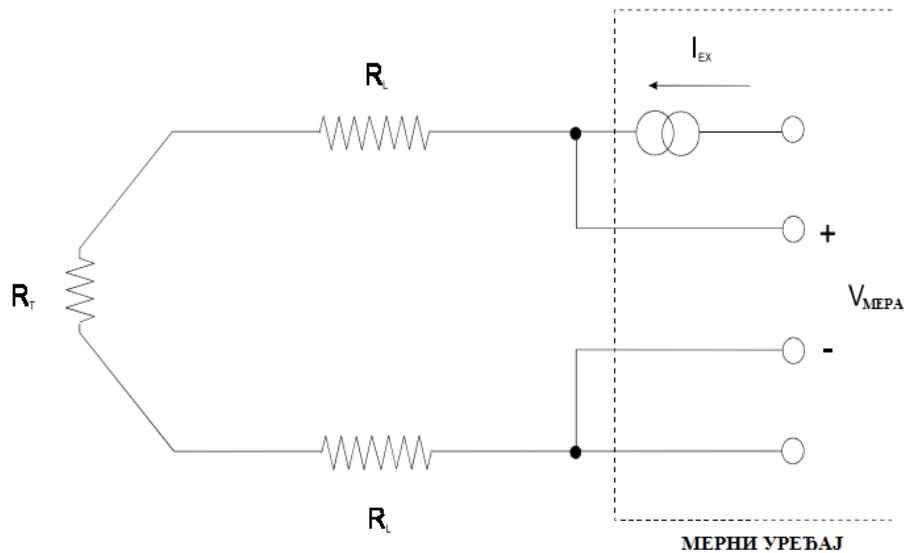
На пример, Pt100 (DIN 43760 стандард), са номиналним отпором од $100 \Omega \pm 0.1 \Omega$ при 0°C има алфа (α) од $0.00385 \Omega / \Omega / ^\circ\text{C}$. Отпорност давача на 100°C је стога $138,5 \Omega$ [2].

2.2.3. Мерне спреге RTD давача

У циљу мерења температуре, RTD давач мора бити повезан са неком врстом надзорне или контролне опреме. Пошто је мерење температуре засновано на отпорности елемента, било ког другог отпора (отпорничка жица, електричне везе и слично) који је додат у електрично коло ће резултирати грешком мерења. Осим конфигурације 2-жице, све остале методе ожичавања омогућавају компензацију нежељене отпорности жице и других отпорности које се јављају у колу. Давачи који користе спрегу три жице су најчешћи, могу се наћи у индустријским процесима и у лабораторијским применама. Отпорност жице се рачуна тако да све прикључне жице имају исту отпорност, у супротном, могу се догодити грешке [5].

1. Двожично RTD мерење

Пошто је RTD пасивни отпорнички давач, он захтева побудну струју како би произвео мерљиви напон на њему. Слика 10 приказује двожичан RTD побуђен од стране константног извора струје, I_{EX} и он је повезан са мерним уређајем.



Слика 10. Двожична веза RTD отпорника [2]

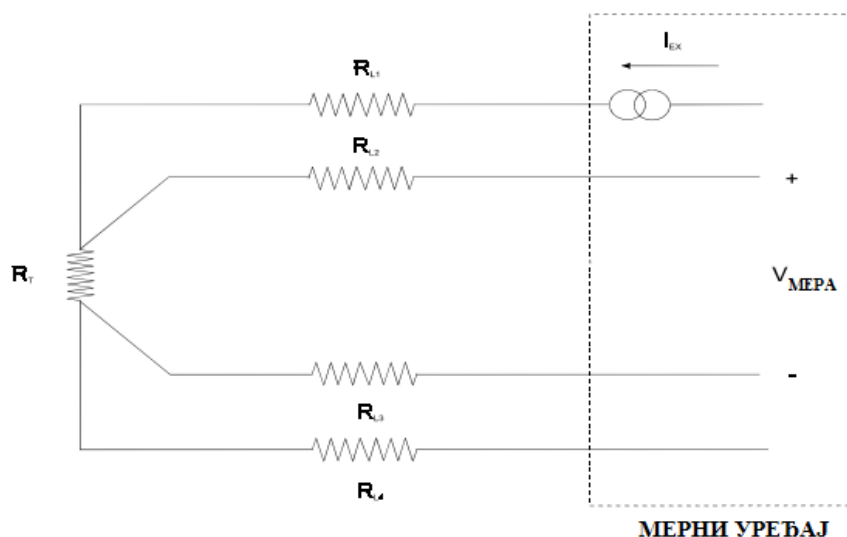
Свака отпорност, R_L , у жицама проводника између мерног уређаја и RTD-а ће изазвати пад напона на контактима једнаким ($2 \times R_L \times I_{EX}$) волти. Пад напона на жицама проводника ће се додати на пад напона на RTD-у, а зависно од вредности отпорности жице у проводнику у односу на отпорности RTD-а, може довести до значајне грешке израчунате температуре.

Размотрити пример где је отпор проводника сваке жице $0,5 \, \Omega$. За $100 \, \Omega$ RTD-а са алфом (α) од $0,385 \, \Omega / ^\circ C$, отпорност проводника одговара грешци температуре од $2,6^\circ C$ ($1,0 \, \Omega / 0,385 \, \Omega / ^\circ C$).

Ово указује на то да ако су мерења напона направљена коришћењем исте две жице које носе побудну струју, отпорност RTD-а мора бити довољно велика, или је отпорност жице проводника толико мала, тако да је пад напона услед отпорности проводника занемарљив. Ово је обично тачно у случају када проводници нису дужи од неколико метара (<3) за $100 \, \Omega$ RTD-а [2].

2. Четворожично RTD мерење

Бољи метод побуде и мерења, нарочито када су дужине жица проводника веће од неколико метара, четворожична RTD конфигурација је приказана на слици 11.

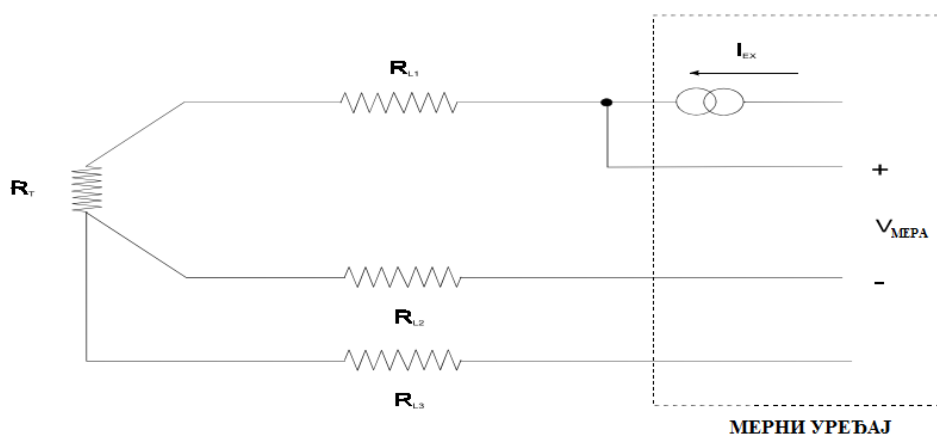


Слика 11. Четворожична веза RTD отпорника [2]

RTD се обично испоручује са четири (4) проводника, два струјна проводника да обезбеде побудну струју за уређај, и два напонска проводника за мерење створеног напона. Ова конфигурација елиминира падове напона изазваних од стране побудне струје при протицању струје кроз отпорничке проводнике (R_{L1} и R_{L4}). Пошто занемарљива струја тече кроз отпорничке проводнике (R_{L2} и R_{L3}), који служе за мерење напона само се пад напона преко отпорности R_T од RTD-а мери [2].

3. Трожично RTD мерење

Смањење трошкова је могуће уз елиминацију једног жичаног проводника. У трожичној конфигурацији приказаној на слици 12, само један проводник R_{L1} додаје грешку на RTD измереног напона [2].



Слика 12. Трожична веза RTD отпорника [2]

4. Самозагревање

Друга последица побудне струје RTD-а је могући ефекат који унутрашње загревање отпорника може имати и који може утицати на тачност стварних мерења температуре. Степен самозагревања зависи од медијума у коме се RTD користи и обично је наведен као пораст температуре за сваки mW снаге расипања за дати медијум (нпр миран ваздух).

За Pt100 RTD уређај, коефицијент самозагревања је $0,2^{\circ}\text{C} / \text{mW}$ у мирном ваздуху, али ова вредност ће варирати у зависности од конструкције кућишта RTD-а и термалних својстава. Са побудном струјом од $0,75 \text{ mA}$ електрична дисипација од стране уређаја је $56 \mu\text{W}$ $[(0,75 \times 10^{-3})^2 \times 100]$ и одговара порасту температуре уређаја услед самозагревања $0,011^{\circ}\text{C}$ ($56 \mu\text{W} \times 0,2$) [2].

Непрецизности у мерењу температуре које настају због проблема са самозагревањем, могу бити знатно смањене:

- минимизирањем побудне снаге,
- побудом RTD отпорника само када се врши мерење,
- баждарењем.

3. Серијска комуникација

Израз, начин преноса података, користимо за означавање начина на који се подаци шаљу кроз дати медиј, тј. пренос података представља пренос кодиране информације. Начини преноса се могу поделити на две фундаменталне категорије, што је и приказано на слици 13:

- **Серијски**- пренос података се врши бит по бит преко јединственог вода или комуникационог канала,
- **Паралелни** - када се пренос већег броја битова података врши истовремено (типично се овакав пренос остварује преко системске магистрале или неке друге магистрале за проширење) [6].



Слика 13. Начин преноса података [6]

3.1. Паралелни пренос података

Израз паралелни пренос се односи на механизам преноса код кога се преноси више бита података у исто време кроз одвојене медијуме. Овај пренос се користи са жичаним медијумом и то са више независних проводника. Сигнали у свим проводницима се синхронизују да битови путују кроз проводнике у исто време [7].

Паралелни начин преноса има две главне предности [8]:

- Велику брзину. Због тога што може да шаље N бита у исто време, паралелни интерфејс може да функционише N пута брже него еквивалентни серијски интерфејс,
- Прилагођеност датом хардверу. Интерно, рачунар и комуникациони хардвер користе паралелна кола. Сва комуникација у оквиру рачунара се одвија паралелним путем у интерној мрежи података, тако да се цео карактер или неколико карактера може преносити истовремено.

Недостаци су [8]:

- Пренос на већа растојања је скупљи,
- Код преноса на већа растојања требају дебљи проводници да би било смањено деградирање сигнала,
- На већим растојањима отпорност жице може да изазове мања померања битова, тако да стижу у различито време.

3.2. Серијски пренос података

Серијски пренос података доноси веће захтеве и за пријемник и за предајник јер пакети података, морају да прате пут када карактер почиње и када се завршава и присутну секвенцу битова. Ради препознавања почетка и завршетка податка од стране пријемника, предајник шаље додатни бит, старт бит и један или више стоп битова. Предаја и пријем пакета података морају се одвијати истом брзином, која се назива брзина преноса и изражена је у bit/sec (битима у секунди) [6]. Ова процедура је позната као синхронизација учесника у комуникацији, и може се остварити на два начина у зависности од тога како се преноси деле у времену:

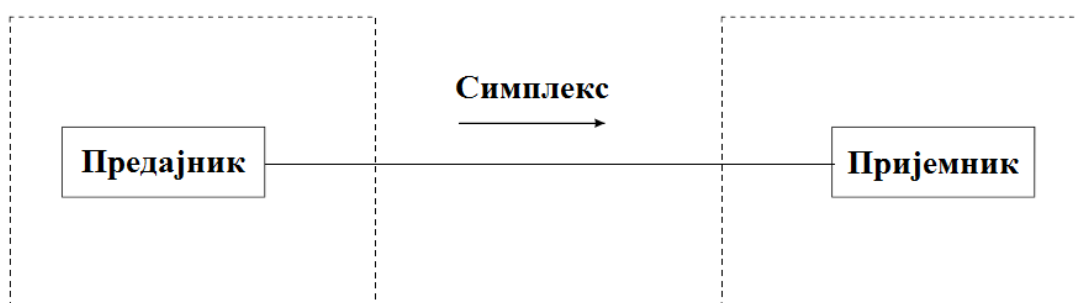
- **Асинхрони пренос** се јавља у било које време, са произвољним кашњењем између слања два дела података (RS232, RS485, ...). Код асинхроног преноса шаље се један по један карактер, а карактери су дугачки 5 до 8 битова. Синхронизација се мора постићи у оквиру сваког карактера. На почетку сваког карактера пријемник има прилику да се поново синхронизише [9]. Код асинхроног преноса података не постоји добра временска искоришћеност са становишта преноса информације. Предност ове врсте преноса је у ниским ценама хардвера и једноставном протоку података. Оваква врста преноса погодна је за кратке поруке и углавном се користи за комуникацију у индустријским мрежним системима. Недостатак овакве методе преноса је у додатном оптерећењу (заузећу) мреже услед сталног слања старт и стоп бита који увећавају величину пакета за око 20-25%. Око 90-95% серијског преноса података остварује се асинхроном методом [8].
- **Синхрони пренос** се појављује континуелно без празног простора између преноса два дела података (USB, SATA, ...). Користи се за пренос велике количине података. На линију се прво шаљу импулси да би пријемник могао да утврди радни такт, а затим се шаље низ битова који се зову синхробити. Предност синхроног метода је у могућности преноса велике количине података у кратком временском периоду, док су мане, поред високе цене хардвера, односно пријемника и предајника, и сметње у медијуму, путем којег се врши пренос података, које могу да изазову губљење синхронизације [8].

Разлика између ова два метода је да су, код синхроног преноса података, два учесника у комуникацији синхронизовани све време трајања процеса преноса података, док су код асинхроног они синхронизовани само у кратак период времена [8].

3.3. Начини комуникације између предајника и пријемника

Смер протока података између различитих учесника у комуникацији представља веома важну карактеристику комуникације. Постоје три различита начина за комуникацију [8]:

1. **Симплекс (Simplex)** – представља слање или пријем пакета података, и то пренос података је могућ само у једном смеру.



Слика 14. Симплекс комуникација [2]

2. **Полу – дуплекс (Half – Duplex)** – пренос података је могућ у оба смера, али не истовремено, већ један након другог.



Слика 15. Полу – дуплекс комуникација [2]

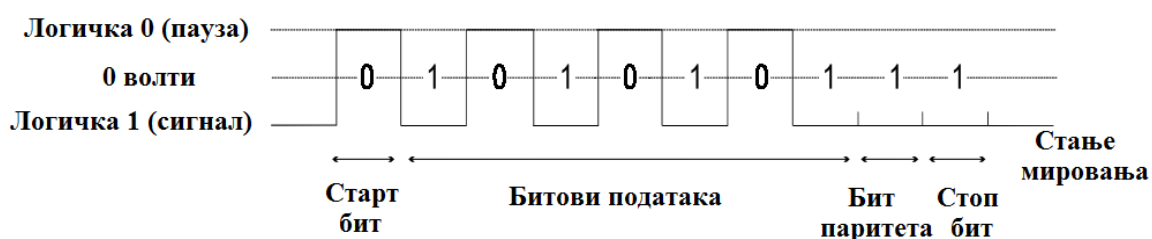
3. **Пун дуплекс (Full – Duplex)** – представља систем који омогућава пренос података у два смера истовремено, односно двосмеран пренос података.



Слика 16. *Пун – дуплекс комуникација [2]*

4. Формат информације

Није реално очекивати да уређај може да пошаље низ знакова преко комуникацијске везе и да ће пријемник на другом крају знати шта да ради са тим подацима. Свака порука мора бити представљена у складу са неким припремљеним правилима. Према томе, подаци се обично представљају у одређеном формату, уз додатне информације које се додају како би порука могла ефикасно да се пренесе и разуме на крају пријема. Потребно је размотрити једноставан асинхрони систем као што је RS-232, за који је уобичајена пракса да пошаље један карактер у одређеном времену. Формат типичног облика карактера је приказан на слици 17.



Слика 17. Формат типичног оквира карактера [2]

У почетку је комуникациона веза података у стању мировања: линија је у стању логичке 1, која је одржана у сталном негативном напону.

Предајник затим шаље старт бит који указује на то да се преноси карактер. Старт бит је у супротном напонском стању у односу на напон мировања и омогућава пријемнику синхронизацију карактера који прати старт бит.

Пријемник ишчитава појединачне битове карактера при њиховом приспећу. Када се сви битови податка пренесу, бит паритета може бити укључен како би пријемник могао да открије евентуалне грешке у оквиру карактера. Након бита паритета, опционо 1, 1½ или 2 стоп бита иду после њега (1½ стоп бита је логичка 1 и одржи се 50% дуже од 1 стоп бита). Стоп бит ефикасно враћа комуникациону линију поново у стање мировања. Након што се последњи стоп бит пренесе низ линију, старт бит може да отпочне са преношењем следећег знака [2].

Бит паритета који се налази на крају карактера ефективно представља отисак карактера који омогућује пријемнику да идентификује да ли је дошло до неке грешке у преносу.

Паритет значи да је укупан број логичких 1 бита у подацима, заједно са повезаним битом паритета мора бити паран број. UART ради ако постоји непаран број логичких 1 бита и поставља бит паритета на 0 или 1 како би направио паран број, укључујући и бит паритета. Непаран паритет се одређује на сличан начин, UART поставља бит паритет да буде 1 или 0 како би осигурао да укупан број бита у поруци, укључујући и бит паритета, буде непаран број.

Још две опције су доступне за бит паритета. Логичка 1 паритета увек поставља бит паритета на 1, док логичка 0 паритета поставља бит паритета на 0. С обзиром да логичка 1 и логичка 0 паритета очигледно не дозвољавају примаоцу да открије било какве грешке у оквиру карактера, они се понекад користе када постоје проблеми са тајмингом.

Статистички, када је чак и паритет непаран, постоји 60% шансе да пријемник детектује грешку паритета. Шема паритета ради на основу непарног броја битова који су били грешке у оквиру карактера. Парни број битова у грешци неће бити детектован од стране шеме паритета. Тако због доступности софистициранијих провера грешке шеме данас, (као што су обрачуни за проверу блокаде и цикличне провере редундантности), бит паритета је понекад постављен без паритета (то јест, бит паритета уопште не постоји у оквиру карактера) [2].

Укратко, опциона подешавања за асинхрони пренос знакова су [2]:

- Старт битови 1
- Битови податка 5, 6, 7, 8
- Битови паритета парни, непарни, сигнал, пауза или ништа
- Стоп битови 1, 1½ или 2

С обзиром да не постоји пола бита, 1½-стоп бит означава да је дужина знака 50% већа него 1 стоп бит [2].

4.1. RS232 комуникациони стандард

RS232 спада у single-ended стандард (подаци се преносе преко једног проводника). Сам назив RS— представља скраћеницу од „Recommended Standard“ [10]. RS232 стандард потпуно дефинише једну врсту асинхроне серијске комуникације. Стандард прво дефинише тип, структуру и могуће брзине преноса битова серијске поруке. Затим, пошто је у питању асинхрона комуникација и порука може кренути у било ком временском тренутку, дефинисани су и начини детекције старта и краја поруке, као и синхронизовано читање послате поруке од стране пријемника. Стандард такође дефинише физички ниво преноса поруке. Дефинисани су напонски нивои на линији у току преноса поруке као и хардвер потребан за предају и пријем поруке по RS232 стандарду, чему морају да се придржавају сви RS232 примопредајници. RS232 стандард има посебне линије за пријем и предају тако да два примопредајника могу истовремено да шаљу и примају податке. Није важно ни ко је први ни када почео, две линије су потпуно независне. Уколико се то програмски и оствари онда добијамо full duplex везу. Неки примопредајници и/или линијски уређаји не могу истовремено да примају и шаљу податке. У том случају се пројектује half duplex веза. Ово значи да је

комуникација двосмерна али није потпуна двосмерна јер се одговор шаље тек након пријема питања [11].

Поред комуникације између рачунарске опреме преко телефонских линија, RS-232 се сада широко користи за директне везе између уређаја за прикупљање података и компјутерских система. Као у дефиницији за RS-232, рачунар представља опрему за пренос података (DTE). Међутим, многи производи интерфејса не представљају опрему за комуникацију подацима (DCE) [12].

Карактеристике RS232 стандарда [10]:

- могућност директног повезивања само два уређаја (1 предајник, 1 пријемник),
- независни канали за пренос и пријем (full-duplex),
- сигнализација се обавља напонским нивоима у односу на заједничку масу,
- неактивном стању линије (логичка јединица или mark) одговара негативан ниво сигнала у односу на масу, а активном (логичка нула или space) позитиван,
- биполарни напонски нивои (-3 V до -12 V логичка јединица и од $+3\text{ V}$ до $+12\text{ V}$ логичка нула),
- осетљивост (мртва зона) $\pm 3\text{ V}$ повећава отпорност линије на шум,
- максималан дозвољен напон у односу на масу: $\pm 25\text{ V}$,
- дозвољено оптерећење: $3\text{ k}\Omega$ до $7\text{ k}\Omega$,
- улазна импеданса: $3 - 7\text{ k}\Omega$,
- максимална струја на излазу: 500 mA .

4.1.1. Повезивање RS232 комуникационог стандарда

RS-232 каблови су обично доступни са 4, 9 или 25 жица (pin). 25-пински кабл повезује сваки пин, 9-пински каблови не укључују многе специфичне искоришћене прикључке; 4-пински каблови обезбеђују минималне везе, и имају краткоспојнике да обезбеде "руковање" за оне уређаје који то захтевају [12].

Појава IBM PC AT је створила нову линију RS-232 комуникација. Уместо да имају стандардни 25-пински конектор, овај рачунар и много нових проширења плоче за PC су одлика 9-пинског серијског порта (слика 18). Да би се овај порт повезао са стандардним 25-пинским портом, може се користити 9-25-пински кабл адаптера, или корисник може да креира сопствени кабл специјално за ту сврху [12].



Слика 18. 9 – пински «АТ» индикатор [12]

Где су [2]:

- **Пин 1: Откривање носиоца података (DCD)**

Ово се такође назива пријемна линија сигнала детектора. Пин 1 се истиче од стране модема када добије даљински преносник и остаје истакнут за време трајања везе.

- **Пин 2: Пријем података (R x D)**

Ова линија преноси серијске податке из пина 3 на DCE и из пин 3 на DTE.

- **Пин 3: Пренос података (T x D)**

Ова линија преноси серијске податке из пина 2 на DTE и из пина 2 на DCE. Линија се одржава у MARK (или негативном напону), током периода када је линија у стању мировања.

- **Пин 4: Уређај спреман за рад (DTE)**

Спреман DTE омогућава, али не изазива, да се модем прикључи на линију. У заснованом режиму, спреман DTE мора бити подржан у циљу аутоматског бирања. Као одговор режиму, спреман DTE мора бити подржан од стране аутоматског одговора.

- **Пин 5: Маса (заједничка)**

Ово је заједничка повратна линија за сигнале преноса и пријема података. Веза, од пина 7 до пина 7 између два краја, је увек изведена.

- **Пин 6: Скуп података спреман за слање (DSR)**

То се зове спреман DCE. У режиму одговора, одговор тон и скуп података спремних за слање су подржани две секунде након што се телефон угаси.

- **Пин 7: Захтев за слање (RTS)**

Линија RTS је захтев за слање података из DTE до DCE. Ова линија се користи у комбинацији са CTS линијом како би се обавила контрола хардвера. DTE неће остварити конекцију са CTS линијом све док DCE не оствари конекцију са RTS линијом.

- **Пин 8: Спремно за слање (CTS)**

Када полу-дуплекс модем прима податке, DTE одржава RTS инхибираним. Када се то оствари DTE се претвара у преносник, он саветује модем што потврђује RTS пин. Када модем подржава CTS, он обавештава DTE да је сада безбедно да шаље податке.

- **Пин 9: Звучни индикатор**

Овај пин је подржан током звука на линији.

4.2. RS485 комуникациони стандард

RS485 је стандард који се бави електричним особинама комуникације. Он прописује диференцијалне линијске предајнике и пријемнике за двосмерни (half duplex) multipoint интерфејс [9]:

- **Начин на који ради софтвер за RS485 стандард је:** Контролише адресирање и води рачуна о кашњењу, а може чак и да искључи предајник. Кашњење и искључење драјвера су најчешће контролисани хардверски, али је омогућено да се краткоспојницима активира софтверска контрола. Треба обратити пажњу да ће превелико или премало време кашњења проузроковати комуникационе проблеме, а да је кашњење зависно од брзине преноса, па је најбоље користити хардверску контролу.
- **Начин на који ради хардвер за RS485 стандард је:** Подаци се шаљу диференцијално преко пара упредених проводника („упредене парице"). Особине диференцијалних сигнала омогућавају висок имунитет на шум и комуникацију на великим растојањима. У двожичним мрежама и предајник и пријемник сваког уређаја су повезани на исту упредену парицу. У овом случају је потребно да софтвер додели адресе уређајима како би се са сваким од њих остварила засебна комуникација. У RS485 мрежи, софтвер мора да користи контролне линије да управља предајником.

Карактеристике RS485 стандарда [13]:

- број уређаја (32 предајника, 32 пријемника),
- комуникација (half-duplex: подаци иду у обе стране али не истовремено),
- максимална дужина парице је 1200 m при 90 kb/s, а максимална брзина преноса је 10 Mb/s на 15 m,
- начин преноса сигнала је диференцијални преко две изоловане и уплетене парице,
- логичка јединица (mark) је од 1,5 V до 5 V ($A > B$), а логичка нула (space) је од 1,5 V до 5 V ($A < B$),
- минимална вредност напона на улазу (0,2 V разлике између A и B),
- максимална вредност струје на излазу (250 mA),
- мртва зона (± 200 mV),
- излазна отпорност предајника је 54 к Ω ,
- максимална улазна отпорност пријемника је 12 к Ω .

Табела 1. Упоредни параметри RS232 и RS485 комуникациона стандарда [13]

ПАРАМЕТАР	RS232	RS485
Режим рада	Half duplex; Full duplex	Half duplex
Број предајника и пријемника	1 предајник; 1 пријемник	32 предајник; 32 пријемник
Максимална дужина кабла	15 метара	1200 метара
Максимална брзина преноса података [b/s]	20 к	10 М
Излаз предајника [V] – минимално оптерећен	± 5	$\pm 1,5$
Излаз предајника [V] – максимално оптерећен	± 25	-7 до +12
Опсег улазног напона пријемника [V]	± 15	-7 до +12
Осетљивост пријемника	± 3	$\pm 0,2$
Излазна струја кратког споја гранична вредност струје [mA]	500	250
Улазна отпорност пријемника [к Ω]	3 – 7	12
Излазна отпорност предајника [к Ω]	3 – 7	54

5. Комуникациони параметри терморегулатора

Терморегулатор ХМТ83 има могућност серијске размене података и пријем команди комуникацијом која је заснована на протоколу RS – 485, а која се назива Aibus. Инструменти и регулатори који имају уграђен Aibus могу да врше пренос и пријем података између уређаја као што су рачунари, PLC и HMI итд [14].

Комуникациони систем се састоји од главног и пратећих уређаја. До 129 пратећих уређаја (AI серија инструмената) може бити повезано са једним главним уређајем.

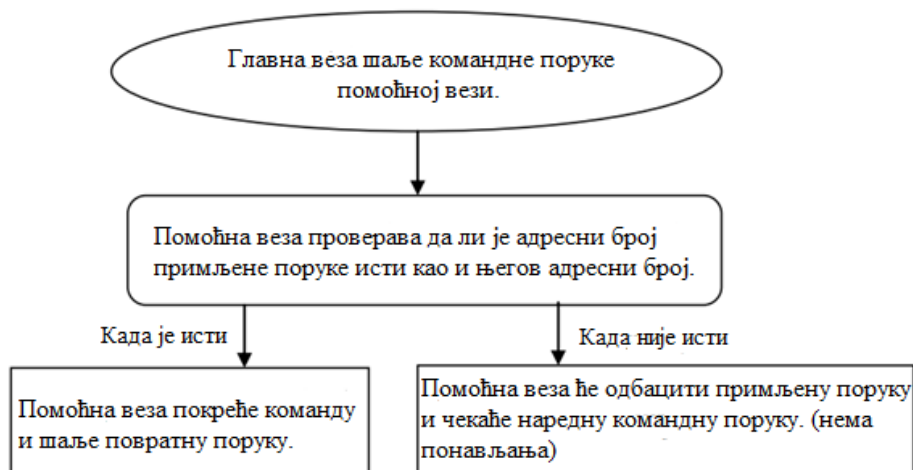
Главни уређај може да комуницира само са једним пратећим у исто време. Стога, сваки пратећи уређај је одређен својом адресом од "0" ~ "129" (од 0 до 80H - хексадецимално. Адреса је одређена параметром "addr".

Табела 2. Спецификације комуникације [14]

Ставке	Спецификације	
Електричне спецификације	EIA RS-485 / RS-232 компатибилан	
Метода комуникације	Систем од две жице, серијски полу-дуплекс бинарни сигнал	
Синхрони метод	Асинхрони	
Максимални број веза	80 јединица	
Удаљеност комуникације	1 километар	
Брзина комуникације	4800 bps, 9600 bps, 19200 bps	
Формат података	Дужина података	8 бита
	Стоп бит	1 бит/2 бита
	Паритет	Ниједан/паран/непаран (по избору)
Детекција грешке	16-битна сума провера	
Изолација	Функционална изолација за област преноса и у другим областима	

5.1. Aibus комуникациони протокол

Систем комуникације Aibus протоколом (слика 19) увек ради коришћењем методе да главни уређај прво шаље командну поруку, а затим пратећи уређај шаље повратну поруку [14].



Слика 19. Систем комуникације Aibus протоколом [14]

5.1.1. Писање поруке

Командну поруку формира само главни уређај, а пратећи уређаји формирају повратну поруку по пријему командне поруке.

Командна порука и повратна порука се састоје од 4 дела: адресе уређаја, функционог кода, меморијске локације, и кода провере [14].

1. Командна порука

Aibus командна порука има само две команде: једна је команда читања; друга је команда писања.

Стандард команде читања: Адреса уређаја + 52H (82) + меморијска локација + 0 + 0 + код провере

Стандард команде писања: Адреса уређаја + 43H (67) + меморијска локација + бајт мање тежине + бајт веће тежине + код провере

Табела 3. Команда читања и писања [14]

Читање		
Име поља	Број бајтова	Детаљи
Адресни број (*1)	2 бајта	0 ~ 80, на основу "ADDR" параметра
Функциони код (*2)	1 бајт	52H(82)
Параметар кода	1 бајт	Видети листу параметара
0	1 бајт	
0	1 бајт	
Код провере	2 бајта	Метод за израчунавање Табела 4

Писање		
Име поља	Број бајтова	Детаљи
Адресни број	2 бајта	0 ~ 80, на основу "ADDR" параметра
Функциони код	1 бајт	43H(67)
Параметар кода	1 бајт	Видети листу параметара
Бајт мање тежине	1 бајт	Бајт мање тежине жељене вредности
Бајт веће тежине	1 бајт	Бајт веће тежине жељене вредности
Код провере	2 бајта	Метод за израчунавање Табела 4

Напомена:

***1. Адреса уређаја**

- За AI серије и aibus, 0 ~ 80 је важећи опсег адресе. Комуникација адресе уређаја се дефинише параметром "addr".
- Адреса уређаја се састоји од 2 иста бајта, а то су: адреса + 80H.

На пример:

Параметар "ADDR" = 10 (децимално), претвара се у 0AH у хексадецималном систему, онда је 0Ah + 80H = 8AH, па је адресни број инструмента [14]:

8AH 8AH

*2. Меморијска локација

Меморијска локација у инструменту се задаје као 1 бајт који је приказан као хексадецимални број. Списак меморијских локација је приказан у табели 7.

У командном стандарду, меморијска локација представља параметар који се може читати / писати [14].

*3. Код провере

Код провере је код од 2-бајта (хексадецимални облик). Начин израчунавања кода провере је дат у табели 4.

Табела 4. *Израчунавање кода провере [14]*

Код провере	Читање	Параметар који се чита $\times 256 + 82 + ADDR$
	Писање	Параметар кода у који се уписује $\times 256 + 67 +$ вредност која се уписује $+ ADDR$

- 1) ADDR у горенаведеној формули: представља адресу уређаја, чији је опсег 0 ~ 80H (не додаје се 80H).
- 2) Код провере је остатак који се добија након хексадецималних целобројних операција приказаних у горњој формули. Остатак је 2 бајта, бајт мање тежине се ставља испред, бајт веће тежине је иза.
- 3) Параметар који треба уписати се уписује коришћењем хексадецималног система.

5.1.2. Повратна порука

Без обзира на командну поруку (читање или писање), повратна порука се састоји од 10 бајтова.

Формат повратне поруке је дат у наставку [14]:

PV+SV+MV&стање аларма+параметар читања/писања+код провере

Напомена:

Табела 5. Опис формата повратне поруке [14]

PV	Измерена вредност	2 бајта	16 бинарни број, бајт мање тежине је напред, а бајт веће тежине је иза њега.
SV	Постављена вредност	2 бајта	16 бинарни број, бајт мање тежине је напред, а бајт веће тежине је иза њега.
MV	Мануелна излазна вредност	1 бајт	8 бинарна вредност, у распону од -110 до +110.
Стање Аларма	*стање бајта А	1 бајт	Видети табелу 6
Параметар Читања/писања		2 бајта	Вредност коју треба прочитати или уписана вредност.
Код провере		2 бајта	PV + SV + (стање аларма × 256 + MV) + параметар за читање / писање + ADDR

Табела 6. Стање бајта А [14]

Бит 0	HIAL	Бит 2	dHAL	Бит 4	оорAL	Бит 6	AL 2, 0: дејство
Бит 1	LoAL	Бит 3	dLAL	Бит 5	AL1 стање, 0: дејство		

Табела 7. Листа карактеристичних параметара [14]

Код / адреса параметра	Име параметра	Садржај
00H	SV	Постављена вредност
01H	HIAL	Аларм горње границе
02H	LoAL	Аларм доње границе
03H	dHAL	Одступање горње границе аларма
04H	dLAL	Одступање доње границе аларма
05H	ANHYS	Хистерезис аларма
06H	Ctrl	Режим рада: 0, ONOFF; 1, APID; 2, nPID; 3, PoP; 4, SoP
07H	P	Пропорционални члан
08H	i	Интеграциони члан
09H	d	Диференцијални члан
0AH	Ctl	Периода управљања
0BH	InP (начин уноса)	Погледајте у приручнику
0CH	dPt	Положај децималне тачке 0, 0; 1, 0.0; 2,

		0.00; 3, 0.000;
0DH	ScL	Доња граница сигнала приказа
0EH	ScH	Горња граница сигнала приказа
0FH	ALP	Избор излаза аларма, погледајте упутство
10H	Sc	Исправно превођење
11H	oP1	Тип главног излаза: 0, SSR; 1, rELu; 2, 0-20; 3, 4-20;
12H	OPL	Доња граница излаза: %
13H	OPH	Горња граница излаза: %
14H	CF	Функција комуникације: Погледајте у приручнику
15H	Модел: означена реч	5180(AI-518) 5187(AI-518P)
16H	Addr	Комуникациона адреса уређаја
17H	FILt	Дигитално филтрирање
19H	Loc	Закључавање параметара
1BH	Srun	Избор ставки стоп / покренути: 0, покренути; 1, стоп; 2, сачекати;
1CH	CHYS	Хистерезис постављене вредности
1DH	At	Аутоматско подешавање: 0, OFF; 1, on; 2, FoFF;
1EH	SPL	Доња граница SV
1FH	SPH	Горња граница SV

5.2. Програмирање

Приликом писања компјутерског софтвера, мора се напоменути да инструмент мора да одговори на сваку важећу наредбу у опсегу од 0 ~ 150 ms, а не би требало да се шаљу нове наредбе све док се не добије одговор инструмента на последњу наредбу, јер то може да изазове недефинисано стање. Ако је време одзива дуже од 150 ms значи да наредба може бити неисправна, или је комуникациона линија прекинута итд. У том случају, рачунар би требао поново да пошаље наредбу или само да промени адресу инструмента [14].

Табела 8. Техничка спецификација за комуникацију [14]

Модел	AI-301, AI-7/8 серија	AI-5 серија
Најспорије време одзива (испод 4800 bit / s)	100 mS	150 mS
Најбрже време одзива (испод 19200 bit / s)	5 mS	5 mS
Просечни период читања и писања (испод 19200 bit / s)	20 mS	50 mS
Дозвољена фреквенција модификације параметара	1 милијарда	1 милион

6. Повезивање терморегулатора са програмским пакетом LabVIEW

Програмски пакет LabVIEW је повезан са терморегулатором помоћу серијске комуникације, на тај начин можемо да задајемо температуру и да читавамо измерену температуру.

6.1. LabVIEW

LabVIEW је софтвер за виртуелну инструментацију чији је произвођач америчка компанија National Instruments. Произвођачи га сврставају у програмске језике опште намене (као C++ и Visual Basic) са екстензивним библиотекама и функцијама за било које намене. Ипак треба напоменути да он служи првенствено за аквизицију, обраду података и управљање [15].

LabVIEW је графички оријентисан програмски језик који користи иконице уместо линије текста за креирање апликација. За разлику од програмских језика базираних на тексту, где инструкције одређују извршење програма, LabVIEW користи програмирање тока података где подаци одређују извршење. Програмски пакет LabVIEW омогућава реализацију комплетног мерно – аквизицијског система, од прихвата сигнала са хардвера до анализе и презентације података. Ради обраде и анализе података LabVIEW има уграђено више стотина функција.

LabVIEW програми се називају виртуелни инструменти (VI) зато што њихово појављивање и операције имитирају физичке инструменте као што су осцилоскопи и мултимери. Сваки VI користи функције које манипулишу улазом од корисничког интерфејса или других извора и приказују те информације или их прослеђују до других фајлова или других рачунара.

LabVIEW ради под оперативним системима Windows, Macintosh, Sun и Unix. Како произвођачи напомињу VI су потпуно независни од платформе.

VI садржи следеће три компоненте [15]:

- Предња плоча (front panel) – служи као графички кориснички интерфејс.
- Блок дијаграм (block diagram) – садржи графички изворни код VI, који дефинише његову функционалност.
- Иконица и конектор (icon and connector pane) – идентификује VI тако да он може да се користи у другом VI. VI у другом VI се назива subVI. SubVI одговара подпрограму у текстуално оријентисаним програмским језицима.

LabVIEW је организован хијерархијски и модуларно. Тиме је обезбеђен концепт модуларног програмирања. Пројекат се дели на скуп задатака, који се даље могу

делити на подзadatke, све док комплексан пројекат не постане скуп једноставних задатака. Решавање подзадатака врши се креирањем одговарајућих VI или subVI. Главни програм или решење комплетног задатка представља скуп subVI који обављају појединачне функције.

LabVIEW окружење састоји се од палете алата, контрола и функција. Палете служе да би се креирали front panel и block diagram, као и за модификовање објеката који су већ постављени [15].

6.2. Серијска комуникација помоћу програма LabVIEW

У оквиру овог рада извршена је серијска комуникација са терморегулатором помоћу програма LabView. Да би се ова комуникација остварила потребно је написати програм у LabView – у помоћу ког се врши читавање измерене температуре, али се такође може и вршити задавање температуре.

Као почетни програм преузето је упутство са званичног сајта National Instruments, а затим је касније извршена модификација тог програма. Уз помоћ одређених функција и контрола које су додате на блок дијаграм извршено је креирање програма у оквиру ког се врши читавање измерене температуре која се мери помоћу сонде која је повезана са терморегулатором и врши се задавање температуре до које терморегулатор треба да врши мерење. На слици 21 је приказан блок дијаграм на ком се јасно види целокупан програм који је написан.

Све контроле које су додате на блок дијаграм се налазе и на предњој плочи која представља графички кориснички интерфејс. На следећој слици 20 се могу видети све контроле које нам служе за подешавање параметара и за ишчитавање измерених вредности.

COM1 представља име серијског порта рачунара, према томе не мора увек бити представљено као COM1, већ може бити и другачије нумерисан COM2, COM3, итд (1). Следећи параметар је брзина преноса података и она је подешена на 4800 bit/s (2), затим је подешена дужина командне поруке која износи 8 бита у хексадецималном облику (3). Изабрана опција без паритета (4) и без контроле протока (6). Дефинисана су и два стоп бита (5), као и време паузе између два податка која износи 500 ms. Сви ови параметри се подешавају на основу упутства које је описано у поглављу 5. У овом поглављу је такође описан поступак писања командне поруке која се шаље терморегулатору притиском на тастер on (8) и представља задату температуру, ова порука се уписује у део под називом string to write. Дакле, командна порука се шаље у форми стринга, самим тим и повратна порука је у истој форми. Повратна порука је исписана у делу под називом read string и приказана је само када је тастер укључен (9), тада је приказана и дужина повратне поруке (10). На дну слике се могу видети

вредности измерене и задате температуре које су приказане у форми нумеричких бројева са једним децималним зарезом.

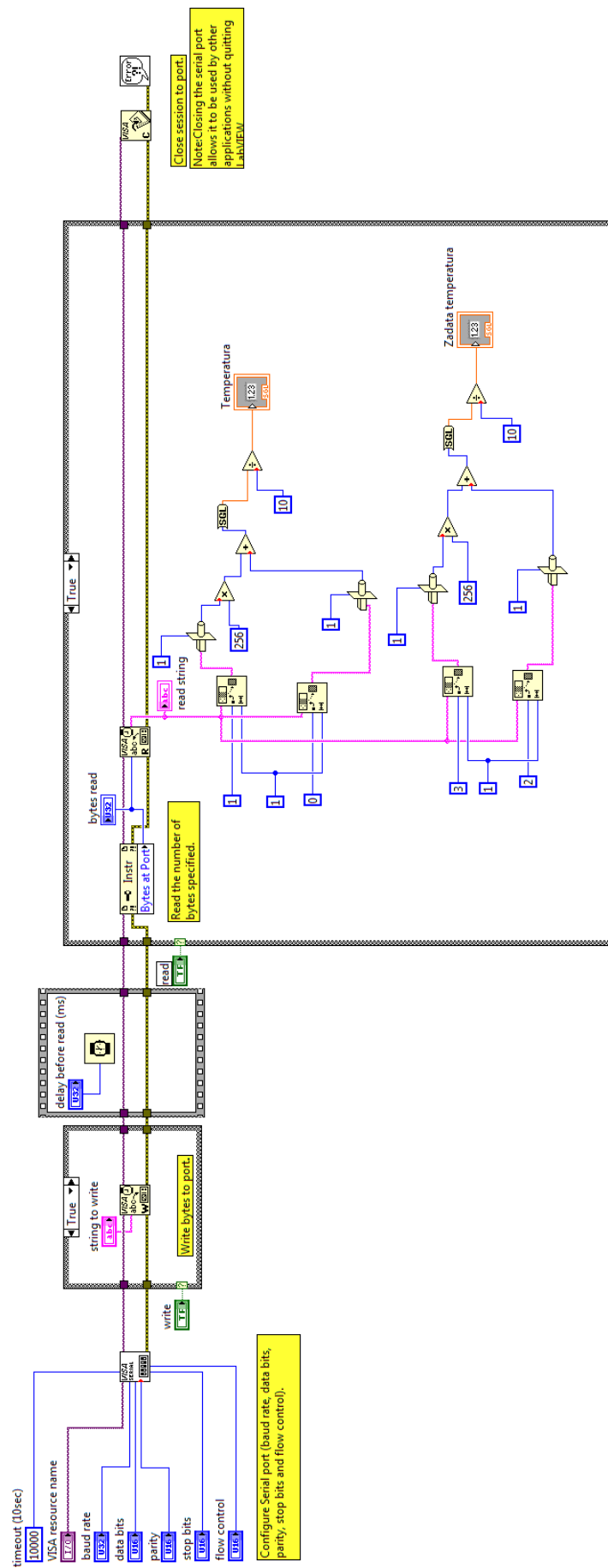
The image shows a software interface for VISA (Virtual Instrument Software Architecture) communication. It is divided into several sections:

- Left Panel (Configuration):** Contains settings for a VISA resource. The 'VISA resource name' is set to 'COM1' (labeled 1). Other settings include 'baud rate' at 4800 (labeled 2), 'data bits' at 8 (labeled 3), 'parity' set to 'None' (labeled 4), 'stop bits' at 2.0 (labeled 5), 'flow control' set to 'None' (labeled 6), and 'delay before read (ms)' at 500 (labeled 7).
- Top Right Panel (Write):** Features a 'write' toggle switch (labeled 8) which is currently 'ON'. Next to it is a text field labeled 'string to write' containing the hexadecimal string '\80\80R\00\00\00R\00'.
- Bottom Right Panel (Read):** Features a 'read' toggle switch (labeled 9) which is currently 'ON'. Below it is a 'bytes read' counter (labeled 10) showing the value '0'. To the right of the counter is a large text area labeled 'read string'.
- Bottom Section:** Contains two input fields for temperature. The left field is labeled 'Temperatura' and the right field is labeled 'Zadata temperatura'. Both fields currently display the value '0,0'.

Слика 20. Предња плоча

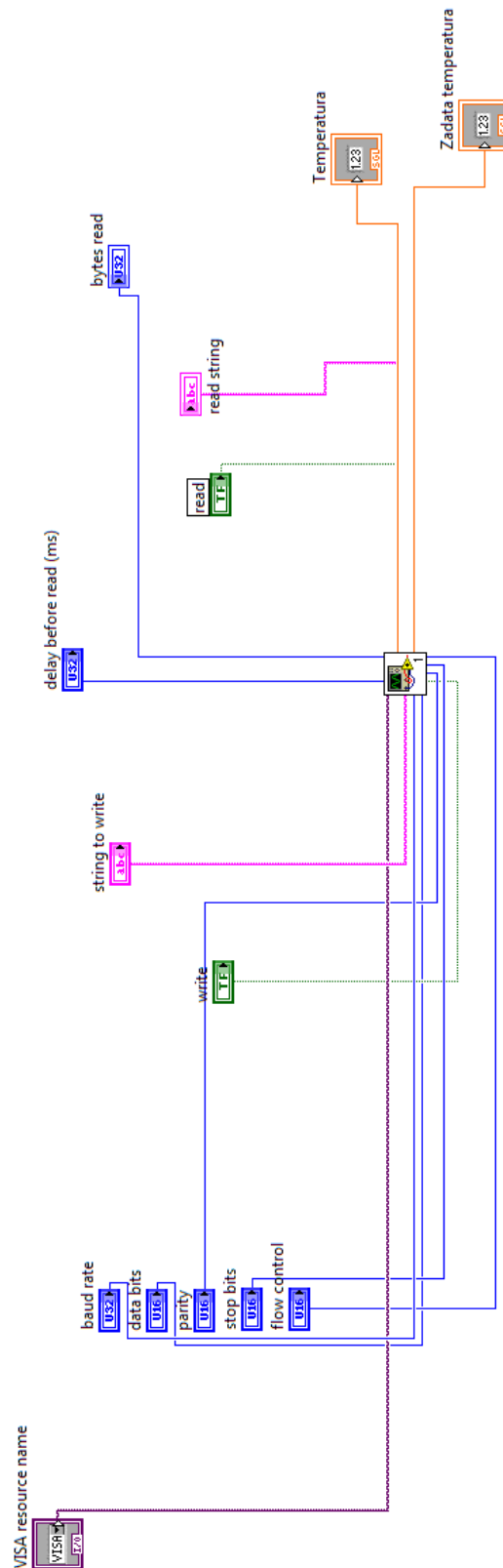
Из повратне поруке која је на блок дијаграму означена као read string издвајају се четири бајта у хексадецималном облику који су груписани по два бајта. Прва група (два бајта) представља измерену температуру, а друга група (два бајта) представља задату температуру. У групи за измерену температуру први бајт је мање, а други бајт веће тежине. Поступак израчунавања измерене температуре је тај да се најпре бајт веће тежине помножи са 256, затим се сабере са бајтом мање тежине. Добијени број је 10 пута већи од вредности измерене температуре, па да би се добила стварна температура добијени број се дели са 10.

У групи за задату температуру први бајт је мање, а други веће тежине. Поступак израчунавања задате температуре се добија истим поступком израчунавања као што је објашњено у претходном случају, што се види и на блок дијаграму.



Слика 21. Блок дијаграм

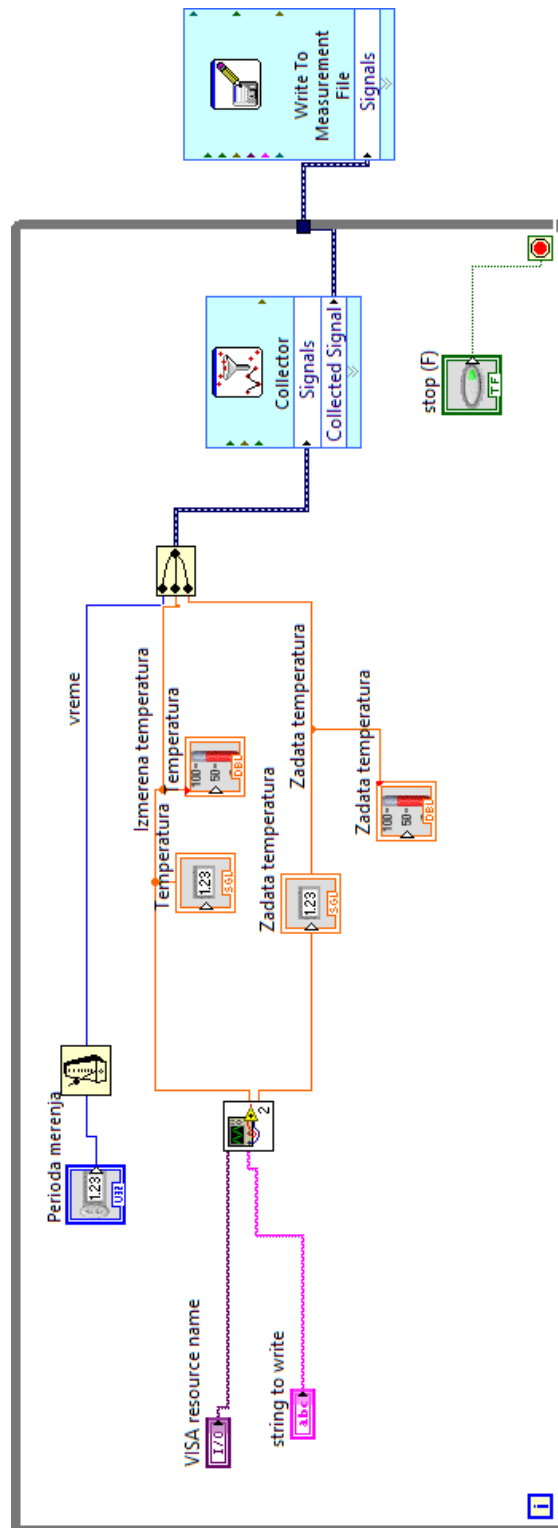
На основу овог блок дијаграма – а направљен је SubVI или потпрограм у оквиру ког су сакривене многе контроле чије су вредности постављене као почетне и које не морају бити уочљиве на предњој плочи. Након креирања овог потпрограма изглед новог блок дијаграма је приказан на слици 22.



Слика 22. Блок дијаграм након креирања SubVI

Дуплим кликом на иконицу SubVI која се налази на средини, можемо се вратити на главни блок дијаграм приказан на слици 21.

Затим је извршена додатна модификација блок дијаграма, додате су контроле које служе за аквизицију података.

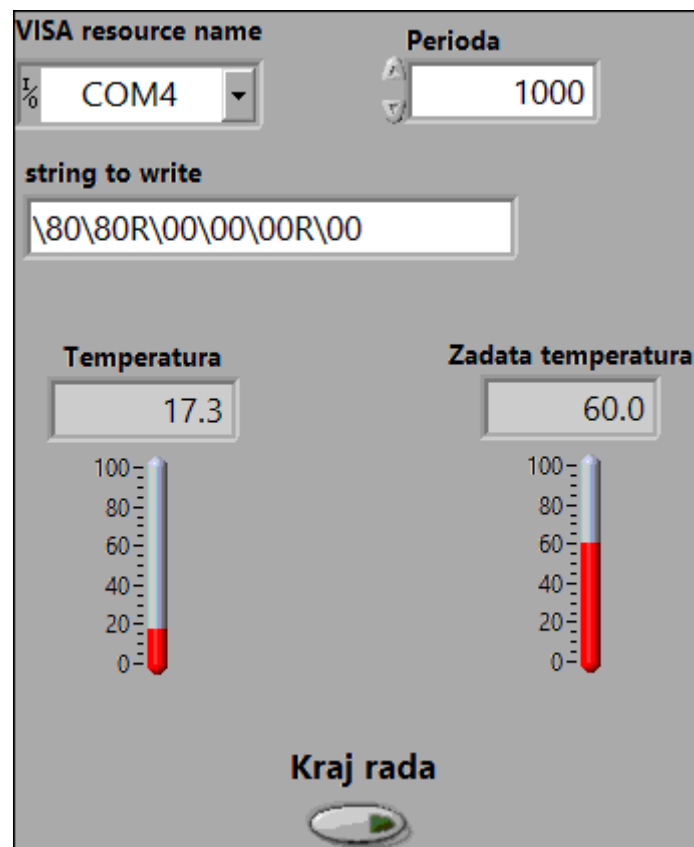


Слика 23. Блок дијаграм након извршене модификације

Додата је периода мерења, блок за прикупљање и меморисање података, два термометра која служе као визуелни показивачи измерене и задате температуре и дугме за прекид мерења (слика 23).

На овај начин предња плоча изгледа визуелно лепше и много је лакше испратити само мерење и задавање вредности температуре (слика 24). На предњој плочи се сада могу видети само COM port који се мења у зависности од карактеристике рачунара на који је повезан, string командне поруке која се шаље терморегулатору, вредности измерене и задате температуре, периода мерења и дугме за прекид мерења. Овде се такође могу видети два термометра која служе као визуелни показивачи измерене и задате температуре.

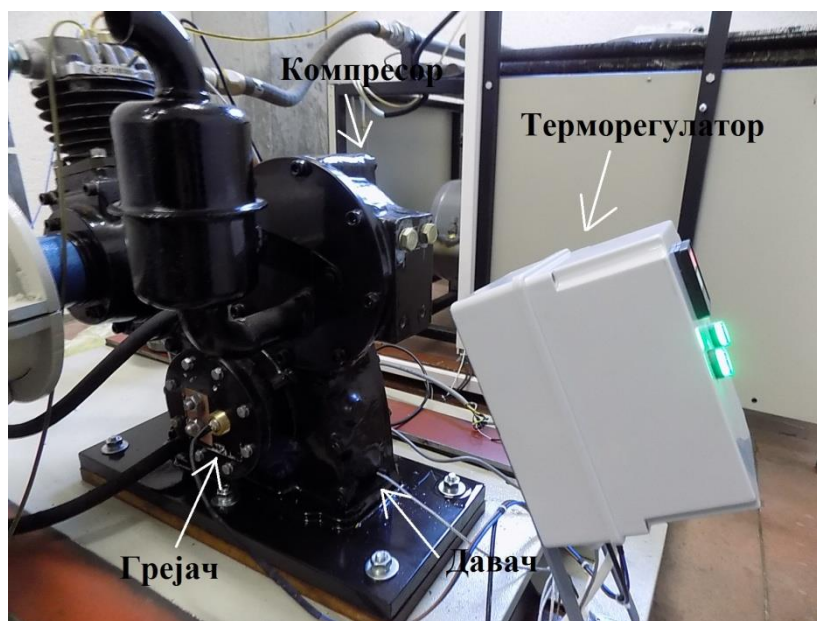
Ова слика је преузета у тренутку самог мерења, па се самим тим може видети на који начин овај програм функционише.



Слика 24. Предња плоча након креирања SubVI

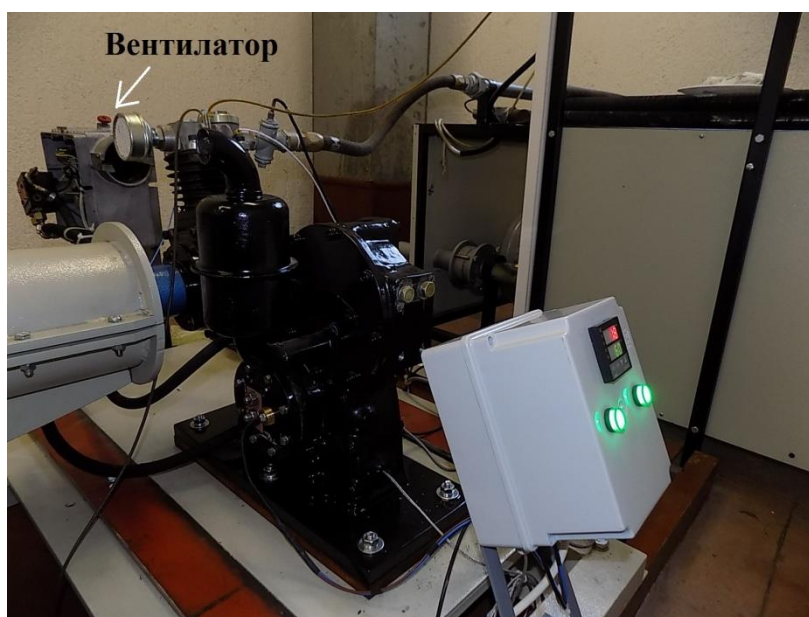
7. Лабораторијско мерење и приказ резултата мерења

Мерење температуре је извршено у лабораторији која се налази на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Рачунар који се налази у лабораторији остварује серијску комуникацију са терморегулатором који је повезан са давачем и грејачем који се налазе у склопу компресора чија се температура мери. Задата температура је подешена на 60°C и грејач ради све док се не постигне задата температура (слика 25).



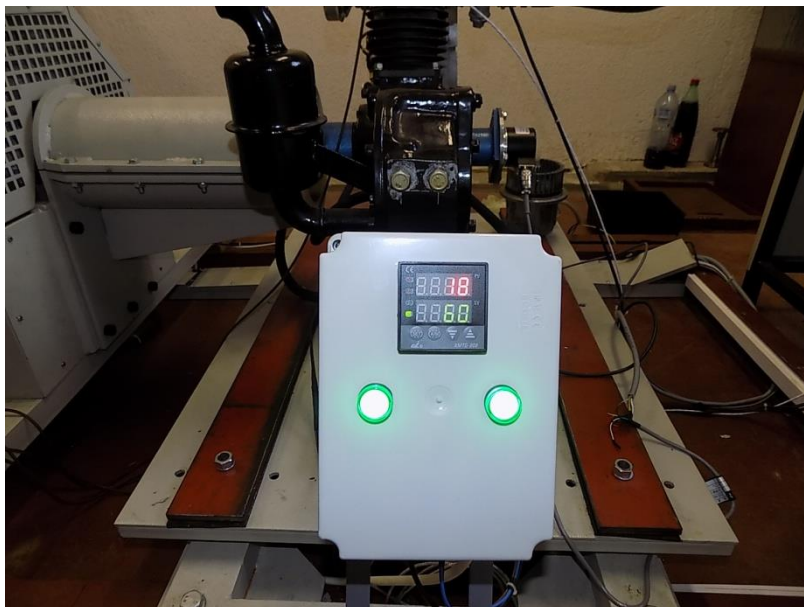
Слика 25. *Kompresor i termoregulator*

Наспрам компресора налази се вентилатор који током целог процеса врши хлађење главе компресора (слика 26).



Слика 26. *Вентилатор који хлади главу компресора*

На слици 27 је приказан терморегулатор на ком се јасно види да измерена температура износи 18°C и да је задата температура подешена на 60°C. Леви индикатор који светли означава да терморегулатор ради и да сонда врши мерење температуре, а десни индикатор који светли означава да је грејач укључен.



Слика 27. Терморегулатор

Мерење је отпочело у 10 сати и 5 минута, задата температура је прво била подешена на 20°C, а затим је касније промењена на 60°C. Температура је постепено расла, грејач и вентилатор су били укључени. У 12 сати и 23 минута дошло је до стабилизације температуре на око 50,4°C, тада је угашен вентилатор, јер грејач није могао да подигне температуру компресора до жељене вредности. Температура је тада наставила постепено да расте. Када је компресор достигао температуру од 59°C процес је прекинут због непредвидивих околности које су настале током мерења.

На слици 28 приказана је аквизиција резултата мерења. Прва колона означава редни број мерења.

Друга колона представља апсолутно време мерења, рачунар сам задаје неко своје почетно време мерења, што је у овом случају 1 907 000 ms, затим уписује када се врши аквизиција измерене температуре. Са слике се види да је разлика између два мерења 1000 ms што одговара постављеној вредности периоде мерења на предњој плочи.

Трећа колона приказује измерену температуру и може се уочити да је почетна температура компресора била 18,7°C, а затим се она постепено повећавала.

Четврта колона показује задату температуру која је прво била подешена на 20°C, а затим је касније повећана на 60°C да би се добила одскочна функција.

```

LabVIEW Measurement
Writer_Version 2
Reader_Version 2
Separator Tab
Decimal_Separator .
Multi_Headings Yes
X_Columns One
Time_Pref Absolute
Operator lab_kompresor
Date 2017/10/26
Time 10:05:26.1917586326599121094
***End_of_Header***

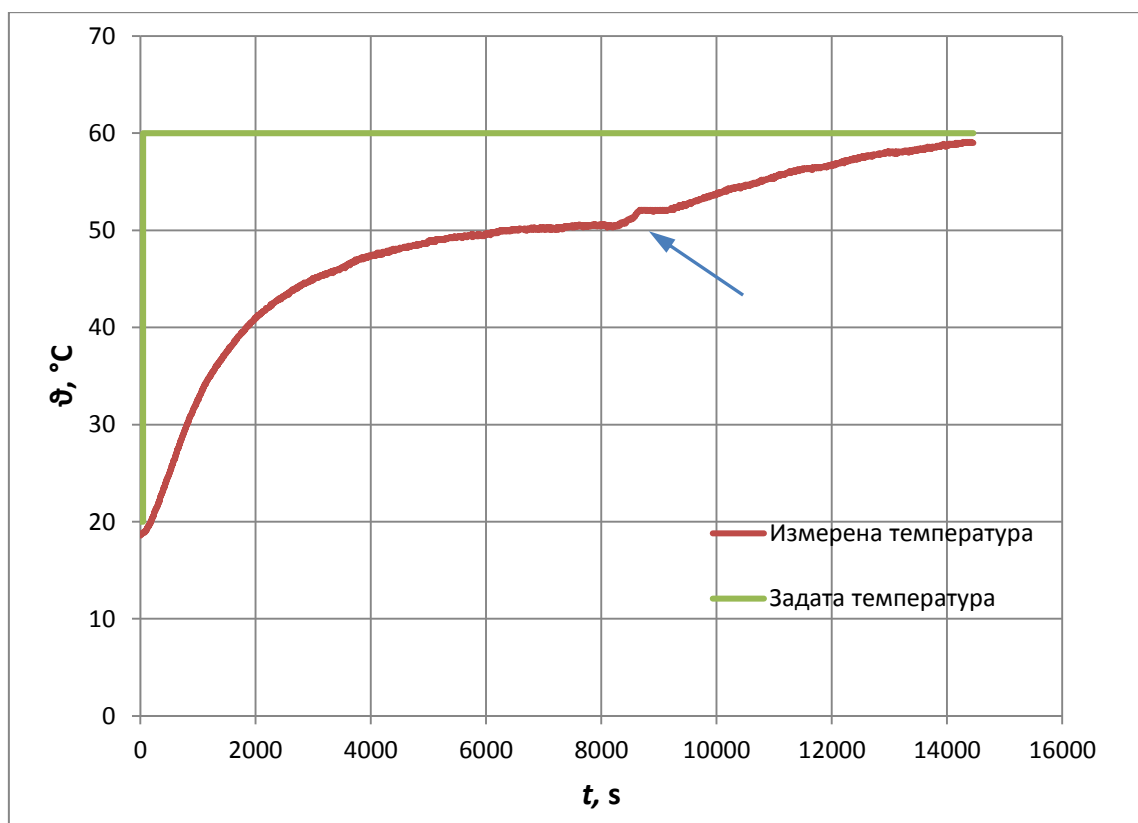
Channels 3
Samples 14457 14457 14457
Date 2017/10/26 2017/10/26 2017/10/26
Time 10:05:26.3319792747497558594 10:05:26.1917586326599121094 10:05:26.1917586326599121094
X_Dimension Time Time Time
X0 0.0000000000000000E+0 0.0000000000000000E+0 0.0000000000000000E+0
Delta_X 1.000000 1.000000 1.000000
***End_of_Header***

```

	Apsolutno vreme	Izmerena temperatura	Zadata temperatura	Komentar
0.000000	1907000.000000	18.700001	20.000000	
1.000000	1908000.000000	18.700001	20.000000	
2.000000	1909000.000000	18.700001	20.000000	
3.000000	1910000.000000	18.700001	20.000000	
4.000000	1911001.000000	18.700001	20.000000	
5.000000	1912000.000000	18.700001	20.000000	
6.000000	1913000.000000	18.600000	20.000000	
7.000000	1914000.000000	18.600000	20.000000	
8.000000	1915000.000000	18.600000	20.000000	
9.000000	1916001.000000	18.700001	20.000000	
10.000000	1917001.000000	18.700001	20.000000	
11.000000	1918000.000000	18.700001	20.000000	
12.000000	1919000.000000	18.700001	20.000000	
13.000000	1920001.000000	18.700001	20.000000	
14.000000	1921000.000000	18.700001	20.000000	
15.000000	1922000.000000	18.700001	20.000000	
16.000000	1923000.000000	18.700001	20.000000	
17.000000	1924000.000000	18.799999	20.000000	
18.000000	1925000.000000	18.799999	20.000000	
19.000000	1926000.000000	18.799999	20.000000	
20.000000	1927000.000000	18.799999	20.000000	

Слика 28. Резултати мерења

Сви резултати мерења представљени су графиком који јасно показује пораст температуре, време мерења и промену задате температуре (слика 29).



Слика 29. График резултата мерења

Стрелицом је приказано место које означава тачно време и температуру када је вентилатор који је хладио главу компресора искључен, након чега је уследила ова неправилност приказана на дијаграму. Јасно се види да је на неких 50°C дошло до стабилизације температуре, затим је уследио мали скок услед гашења вентилатора, након чега је температура наставила постепено да расте.

Вентилатор је искључен из тог разлога што грејач није могао да подигне температуру компресора до задате температуре. Када је се температура достигла 59°C, дошло је до квара и мерење је морало бити прекинуто.

8. Закључак

Решавана је проблематика мерења температуре (до 60°C) компресора који служи за производњу компримованог ваздуха помоћу давача који је повезан са терморегулатором. Грејач који је такође повезан са терморегулатором, а који се налази у склопу кућишта компресора врши загревање компресора до жељене температуре. Цео овај процес се контролише програмом који је написан у оквиру програмског пакета LabVIEW и који врши тачно читавање температуре. Овај програм такође врши аквизицију измерене и задате температуре, као и времена током ког се одвијао овај процес.

За успешну реализацију серијске комуникације између програмског пакета LabVIEW и регулатора температуре потребно је основно познавање LabVIEW програма, треба проучити комуникационе параметре терморегулатора, начине преноса података, формат преноса података, као и само повезивање компресора и терморегулатора.

У оквиру овог рада дат је пример серијске комуникације између терморегулатора и компресора, поступак израде програма у програмском пакету LabVIEW, као и целокупан поступак мерења температуре и аквизиције података.

Успешно је реализована шема програма који врши читавање и задавање температуре на терморегулатору. LabVIEW представља веома погодно окружење за решавање оваквих проблема и такође је погодан за аквизицију измерених резултата. Провера овог програма је вршена на терморегулатору XMTG – 808 помоћу ког је мерена температура просторије, затим је касније тај програм искоришћен за мерење температуре загревања компресора у лабораторијским условима.

Мерење температуре је успешно реализовано и добијени су задовољавајући резултати који су графички приказани и на графику се може јасно видети да је главни циљ овог рада постигнут.

Литература

- [1] Omega Engineering, Library Reference Edition, Temperature Controllers, интернет страница: <https://www.omega.com/prodinfo/temperaturecontrollers.html#learn>, приступљено 13.10.2017.
- [2] Park J., Mackay S.: *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*, Newnes, Linacre House, Jordan Hill, Burlington, 2003.
- [3] Omega Engineering, Library Reference Edition, Temperature Controllers, CD, Stamford 2003.
- [4] Mehatronik sistem, интернет страница: <http://mehatronik.com/2014/02/pt100-senzori/>, приступљено 16.10.2017.
- [5] Omega Engineering, Library Reference Edition, RTD Sensors, интернет страница: <https://www.omega.com/prodinfo/rtd.html>, приступљено 27.10.2017.
- [6] Axelson, J., „Serial Port Complete and Circuits for RS – 232 and RS – 485—, Lakeview Research, 1999.
- [7] Универзитет у Нишу, Природно математички факултет, Структура рачунара, Глава 7 – наставни материјали, интернет страница: <http://tesla.pmf.ni.ac.rs/Predavanja/racunar%20sist/Knjiga%20-%20Vol2/GLAVA7.pdf>, приступљено 17.10.2017.
- [8] Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Мехатроника, интернет страница: http://www.iim.ftn.uns.ac.rs/mehatronika/attachments/article/139/CIM_4.pdf, приступљено 19.10.2017.
- [9] Томић С., Маринковић С.: Master-slave комуникација реализована коришћењем RS485 интерфејса, Универзитет у Нишу, Електронски факултет, интернет страница: http://es.elfak.ni.ac.rs/Papers/STomic%20-%20SMarinkovic%20-%20Projekat_mikroprocesorski.pdf, приступљено 22.10.2017
- [10] Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Катедра за електрична мерења, Мерни системи у индустријском окружењу, Предавање 1, интернет страница: http://www.kelm.ftn.uns.ac.rs/literatura/msui/predavanja/pred_1.pdf, приступљено 30.10.2017.
- [11] Magneto Tech Research, интернет страница: <http://www.rs232-to-rs485.com/>, приступљено: 31.10.2017.
- [12] Omega Engineering, Library Reference Edition, The RS-232 Standard, CD, Stamford 2003.
- [13] Soltero, Manny; Zhang, Jing; Cockril, Chris; Zhang, Kevin; Kinnaird, Clark; Kugelstadt, Thomas (May 2010) [2002]. „RS-422 and RS-485 Standards Overview and System Configurations, Application Report—, <http://focus.ti.com/lit/an/slla070d/slla070d.pdf>, приступљено 03.11.2017.
- [14] YUDIAN AIBUS COMMUNICATION PROTOCOL INSTRUCTION (V8.0), интернет страница: www.yudianautomation.com/index.php/Down/download/212, приступљено 24.10.2017.
- [15] Studenti. rs, интернет страница: <http://studenti.rs/skripte/informacione-tehnologije/labview-programski-paket/>, приступљено 05.11.2017.
- [16] OPERATION MANUAL FOR MICROCOMPUTER BASED DIGITAL TEMPERATURE CONTROLLER XMT*-808 series, интернет страница: http://www.sah.co.rs/media/sah/techdocs/xmt808_manual.pdf, приступљено 24.10.2017.
- [17] Грујовић А., Грујовић Н.: *Техничка мерења II - Основи технике мерних средстава*, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2005.