



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА**



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
НОВИ САД
Департман за рачунарство и аутоматику
Одсек за рачунарску технику и рачунарске комуникације**

ДИПЛОМСКИ – МАСТЕР РАД

Кандидат: Иван Аџић

Број индекса: E10715

Тема рада: Једно решење програмске подршке калибрационог режима рада сензора на бази Холовог ефекта

Ментор рада: проф. др Никола Теслић

Нови Сад, април 2009.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:		
Идентификациони број, ИБР:		
Тип документације, ТД:	Монографска документација	
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал	
Врста рада, ВР:	Дипломски – мастер рад	
Аутор, АУ:	Иван Аџић	
Ментор, МН:	проф. др Никола Теслић	
Наслов рада, НР:	Једно решење програмске подршке калибрационог режима рада сензора на бази Холовог ефекта	
Језик публикације, ЈП:	Српски / латиница	
Језик извода, ЈИ:	Српски	
Земља публиковања, ЗП:	Република Србија	
Уже географско подручје, УГП:	Војводина	
Година, ГО:	2009.	
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт	
Место и адреса, МА:	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6	
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	7/57/0/13/35/0/0	
Научна област, НО:	Електротехника и рачунарство	
Научна дисциплина, НД:	Рачунарска техника	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	Ауто индустрија, Сензор, Магнет, бифазни-М комуникациони протокол, калибрациони режим рада	
УДК		
Чува се, ЧУ:	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад	
Важна напомена, ВН:		
Извод, ИЗ:	Рад описује једно решење програмске подршке калибрационог режима рада сензора на бази Холовог ефекта. У оквиру рада детаљно је описан принцип рада Холовог сензора, архитектура сензора и бифазни-М комуникациони протокол. Приказано је развојно окружење, имплементација калибрационог режима рада и верификација имплементације.	
Датум прихватања теме, ДП:		
Датум одбране, ДО:	08.04.2009	
Чланови комисије, КО:	Председник: проф. др Миодраг Темеринац	
	Члан: др. Небојша Пјевалица	Потпис ментора
	Члан, ментор: проф. др Никола Теслић	



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :		
Identification number, INO :		
Document type, DT :	Monographic publication	
Type of record, TR :	Textual printed material	
Contents code, CC :	Master Thesis	
Author, AU :	Adžić Ivan	
Mentor, MN :	PhD Nikola Teslić	
Title, TI :	One solution of calibration mode for Hall effect based sensors	
Language of text, LT :	Serbian	
Language of abstract, LA :	Serbian	
Country of publication, CP :	Republic of Serbia	
Locality of publication, LP :	Vojvodina	
Publication year, PY :	2009.	
Publisher, PB :	Author's reprint	
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6	
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	7/57/0/13/35/0/0	
Scientific field, SF :	Electrical Engineering	
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems	
Subject/Key words, S/KW :	Automotive, Sensor, Magnet, bifase-M communication protocol, calibration mode	
UC		
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia	
Note, N :		
Abstract, AB :	This paper describes one solution of calibration mode for Hall effect based sensors. This documentation is based on description of Hall effect based sensors, device architecture and description of biphas-M communication protocol. This document also include description of implementation of firmware for calibration mode and verification of implementation.	
Accepted by the Scientific Board on, ASB :		
Defended on, DE :	08.04.2009	
Defended Board, DB :	President: PhD Miodrag Temerinac	
	Member: PhD Nebojša Pjevalica	Mentor's sign
	Member, Mentor: PhD Nikola Teslić	

SADRŽAJ

1. Uvod.....	9
2. Senzori na bazi Holovog efekta	10
2.1 Holov efekat	10
2.2 Arhitektura senzora na bazi Holovog efekta	12
2.3 Opis arhitekture senzora na bazi Holovog efekta.....	13
2.3.1 Procesor	13
2.3.2 Memorija	13
2.3.3 Modul za generisanje takta i delitelj takta.....	13
2.3.4 Modul sa Holovim senzorom	13
2.3.5 Temperaturni modul	13
2.3.6 Logika prekida.....	13
2.3.6.1 Princip funkcionisanja modula.....	14
2.3.7 Modul za bifazno slanje	14
2.3.7.1 Princip funkcionisanja modula.....	14
2.3.7.2 Slanje podataka preko modula za bifazno slanje	15
2.3.7.3 Slanje signala potvrde preko modula za bifazno slanje	15
2.3.8 Modul „CaptureCompare“(CAPCOM).....	16
2.3.8.1 Princip funkcionisanja modula.....	16
2.3.8.2 Rad slobodnog brojača CaptureCompareCounter.....	17
2.3.8.3 Ulazna logika	17
2.3.9 Modul kolo vremenske kontrole.....	17
2.3.9.1 Princip funkcionisanja modula.....	17
2.4 Režimi rada Holovih senzora	18

3.	Bifazni-M komunikacioni protokol	20
3.1	Bifazno-M kodovanje.....	20
3.1.1	Telegram za upis podataka	21
3.1.2	Telegram za čitanje podataka	22
3.2	Podržane bifazne komande.....	23
3.2.1	Komanda „postavljanje bazne adrese“	23
3.2.2	Komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“	23
3.2.3	Komanda „čitanje sa baznom adresom“	24
3.2.4	Komanda „upis bajta sa baznom adresom“	24
3.2.5	Komanda „upis reči sa baznom adresom“	24
3.2.6	Specijalni slučajevi.....	24
4.	Implementacija kalibracionog režima rada.....	25
4.1	Razvojno okruženje.....	25
4.2	Implementacija programske podrške	26
4.2.1	Programski tok	26
4.2.2	Programske rutine.....	26
4.2.2.1	Rutina Aplicacion i inicijalizacija kalibracionog moda.....	27
4.2.2.2	Rukovalac prekidima (IRQ_HANDLER).....	28
4.2.2.3	Rutina CAPCOM - podjedinica 0 (IRQ_ISR_5)	29
4.2.2.4	Rutina Timer1 (IRQ_ISR_1).....	33
4.2.2.5	Rutina modula za Bifazno slanje (IRQ_ISR_9).....	33
4.2.3	Iskorišćenost resursa.....	34
5.	Verifikacija implementacije kalibracionog režima rada.....	35
5.1	Programski alati.....	35
5.2	Verifikaciona oprema.....	35
5.2.1	Konfiguracija programskih alata i verifikacione opreme.....	36
5.2.1.1	Konfiguracija 1 - Ploča za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola ploča i Hyper Terminal	36
5.2.1.2	Konfiguracija 2 - Generator signala AWG510 i kolo za prilagođavanje naponskih nivoa.....	37
5.3	Testiranje komandi.....	39
5.3.1	Komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“	39
5.3.2	Komanda „čitanje sa baznom adresom“	40
5.3.3	Komanda „postavljanje bazne adrese“	41
5.3.4	Komanda „upis bajta sa baznom adresom“	42

5.3.5	Komanda „upis reči sa baznom adresom“	43
5.4	Testiranje na nivou telegrama	44
5.4.1	Testiranje vremena bita (tbbit)	44
5.4.2	Testiranje vremena polovine bita (thbh)	45
5.5	Odgovor senzora na bazi Holovog efekta na telegrame sa greškama	46
5.5.1	Korišćeni telegrami	47
6.	Zaključak	53
7.	Literatura.....	54

SPISAK SLIKA

Slika 1 - Holov efekat	11
Slika 2 - Senzor na bazi Holovog efekta.....	12
Slika 3 - Fizička arhitektura senzora na bazi Holovog efekta.....	12
Slika 4 - Slanje 16-bitnih podataka preko bifaznog izlaza.....	15
Slika 5 - Slanje signala potvrde preko bifaznog izlaza	16
Slika 6 - SENT signal.....	18
Slika 7 - Kodovanje informacije bifaznog-M protokola	20
Slika 8 - Grafički prikaz telegrama za upis podataka	21
Slika 9 - Grafički prikaz telegrama za čitanje podataka	22
Slika 10 - Razvojno okruženje	25
Slika 11 - Tok programa kalibracionog režima rada senzora	26
Slika 12 - Inicijalizacija senzora nakon reseta	27
Slika 13 - Rutina CALIBRATION_MODE_INITIAL	28
Slika 14 - Tok programa u rukovaocu prekidima IRQ_HANDLER	29
Slika 15 - Prekidna rutina modula IRQ_ISR_5.....	30
Slika 16 - Programski tok rutine za obradu rezultata.....	31
Slika 17 - Programski tok rutine za proveru broja primljenih bita	32
Slika 18 - Prekidna rutina IRQ_ISR_1.....	33
Slika 19 - Prekidna rutina IRQ_ISR_9.....	33
Slika 20 - Konfiguracija alata za proveru bifaznih komandi	36
Slika 21 - Podešavanje Hyper Terminala.....	37
Slika 22 - Konfiguracija alata za verifikaciju pomoću generatora signala AWG510.....	37
Slika 23 - Shematski prikaz spoljašnjeg kola za prilagođavanje naponskih nivoa.....	38

Slika 24 - Spoljašnje kolo za prilagođavanje naponskih nivoa.....	38
Slika 25 - Ulaz (CH3) i izlaz (CH2) iz kola za prilagođavanje naponskih nivoa	38
Slika 26 - CRC greška.....	47
Slika 27 - Greška bita parnosti (test 1).....	48
Slika 28 - Greška bita parnosti (test 2).....	48
Slika 29 - Greška starnog bita	49
Slika 30 - Nepoznata komanda ID2	49
Slika 31 - Nepoznata komanda ID4	50
Slika 32 - Nepoznata komanda ID7	50
Slika 33 - Greška na prvom bitu	51
Slika 34 - Greška na četvrtom bitu.....	51
Slika 35 - Greška na trećem bitu	52

SPISAK TABELA

Tabela 1 - Širina bita i odgovarajuće frekvencije	14
Tabela 2 - Bifazne karakteristike senzora	21
Tabela 3 - Podržane komande	23
Tabela 4 - Moduli i prekidi u kalibracionom režimu rada	27
Tabela 5 - Iskorišćenost resursa	34
Tabela 6 - Verifikacioni rezultati komande „čitanje sa apsolutnom adresom“	40
Tabela 7 - Verifikacioni rezultati komande „čitanje sa baznom adresom“	41
Tabela 8 - Verifikacioni rezultati komande „postavljanje bazne adrese“	42
Tabela 9 - Verifikacioni rezultati komande „upis bajta sa baznom adresom“	43
Tabela 10 - Verifikacioni rezultati komande „upis reči sa baznom adresom“	44
Tabela 11 - Rezultati tbbit testiranja	45
Tabela 12 - Rezultati thbh testiranja	46
Tabela 13 - Rezultati testiranja senzora na telegrame sa greškom.....	47

SKRAĆENICE

CPU	- <i>Central Processor Unit</i> , Centralni procesor
GND	- Oznaka za signal na nultom potencijalu
CRC	- Cyclic redundancy check, Kod za proveru validnosti podataka
MUX	- Multiplexer
CAPCOM	- CaptureCompare, oznaka za CaptureCompare modul
CCC	- CaptureCompareCounter, slobodni brojač modula CAPCOM
CCM	- CAPCOM registar za mod rada
CCI	- CAPCOM registar za prekide
CAP	- Capture Event
PWM	- Pulse with modulation, komunikacioni protokol
LIN	- Local Interconnect network, komunikacioni protokol
SENT	- Single edge nibble transmission, komunikacioni protokol
CMOS	- Complementary metal–oxide–semiconductor
ROM	- Read-only memory
RAM	- Random-access memory
VSUP	- Ulazni napon Holovog senzora
DIO	- Data input/output, nožica za slanje i primanje podataka.
BPOUT	- izlaz generatora koda za bifazno slanje od modula za gifazno slanje
BPCLK	- bifazna frekvencija modula za bifazno slanje
BPC0	- kontrolni registar modula za bifazno slanje
SR0	- registar za omogućavanje ili onemogućavanje rada pojedinih modula
TIMCNT	- 16 - bitni brojač na dole modula kola vremenske kontrole
TIMMOD	- registar za odabir moda rada kola vremenske kontrole

TIMRLD	- 16 - bitni registar koji sadrži startnu vrednost brojača TIMCNT
SR0.TIM	- omogućavanje rada modula kolo vremenske kontrole
SR0.CCC	- omogućavanje rada modula „Capture Compare“
WRREL	- Write Reload, Restartovanje brojača na upis
EXREL	- External Reload, Sopljašnji restart brojača
SBREL	- Standby Reload, Restartovanje brojača u stanju mirovanja
ONES	- One Shot, Brojač broji samo jednom
PREDIV	- Preset Divider, Podešavanje naponskog nivoa
SELOUT	- Select Output, Odabir izlaza

1. Uvod

Tokom istorije čovek je na razne načine pokušavao da meri stvari koje ga okružuju, dužinu pređenog puta, temperaturu vode, brzinu kretanja tela, pritisak, vlažnost i sl. Pronalaskom senzora olakšano je merenje fizičkih veličina i povećana raznovrsnost veličina koje mogu biti izmerene.

Senzor je uređaj koji meri fizičke veličine i konvertuje ih u signal koji je čitljiv posmatraču ili instrumentu. Na primer, živin termometar konvertuje izmerenu temperaturu u širenje živine tečnosti, koja se može očitati na cevi sa podeocima. Senzori imaju široku primenu u svakodnevnom životu: kod ekrana osetljivih na dodir, kod vrata i liftova u javnim objektima, kod osvetljenja i alarma i mnogih drugih uređaja: automobila, aviona, medicinskih uređaja, robota, industrijskih mašina i sl. Tehnološki napredak omogućio je izradu senzora sa mikroskopskom preciznošću. Senzor korišćen u ovom radu omogućuje detektovanje magnetnog polja i našao je svoju primenu u auto industriji.

Zadatak ovog diplomskog rada je razvoj programske podrške za kalibracioni režim rada senzora. Poglavlje 2 (Senzori na bazi Holovog efekta) detaljno opisuje vrstu senzora, arhitekturu i podržane režime rada.

Kalibracioni režim rada je baziran na bifaznom-M komunikacionom protokolu koji je detaljno opisan u poglavlju 3 (Bifazni-M komunikacioni protokol).

Više detalja o razvojnom okruženju i samoj implementaciji opisuje poglavlje 4 (Implementacija kalibracionog režima rada).

Nakon završene implementacije neophodno je verifikovati programsku podršku. Verifikacija podrazumeva proveru da li se rad senzora ponaša u skladu sa specifikacijom komunikacionog protokola i specifikacijom proizvođača senzora. Poglavlje 5 (Verifikacija implementacije kalibracionog režima rada) opisuje verifikacioni postupak.

2. Senzori na bazi Holovog efekta

Senzor korišćen u ovom radu radi na principu Holovog efekta. Koristi se za merenje jačine magnetnog polja i izmerenu vrednost senzor šalje određenim komunikacionim protokolom. Osnovna primena ovog senzora je u auto industriji. Holov senzor ce može koristiti svuda gde je potrebno merenje direktnih parametara kao što su, pozicija ili detekcija pokreta, ali se takođe može koristiti i u indirektnim parametrim kao što su sila, obrtni momenat, pritisak, struja i protok.

Uređaji zasnovani na Holovom efektu po prirodi proizvode odzivni signal koji je malog intenziteta i zahteva pojačavanje. Pojačavači na principu vakuumskih cevi, korišćeni u prvoj polovini dvadesetog veka, bili su zbog visoke cene, gabarita, potrošnje energije, i nepouzdanosti u uslovima svakodnevne upotrebe, primenljivi isključivo u laboratorijskim uslovima. Tek sa prodorom tehnologije integrisanih kola i pojavom daleko manjih, jeftinijih i pouzdanijih pojačavača, Holovi senzori ulaze u masovnu primenu. Brojni uređaji koji su trenutno dostupni na tržištu, u sebi zapravo sadrže Holov senzor i integrisano kolo koje je zapravo pojačavač sa visokim koeficijentom pojačanja. Ova dva uređaja se na nivou današnje tehnologije isporučuju u jedinstvenom zajedničkom kućištu.

Kada su pravilno proizvođački upakovani i zaštićeni, Holovi senzori su otporni na prašinu i vodu. Ova osobina čini Holove senzore kvalitetnijim u primenama detekcije položaja u odnosu na konkurentske tehnologije kakve su optičko ili elektromehaničko detektovanje. Prvenstvena prednost se ogleda u teorijskoj linearnoj zavisnosti merene veličine u odnosu na ulazne veličine.

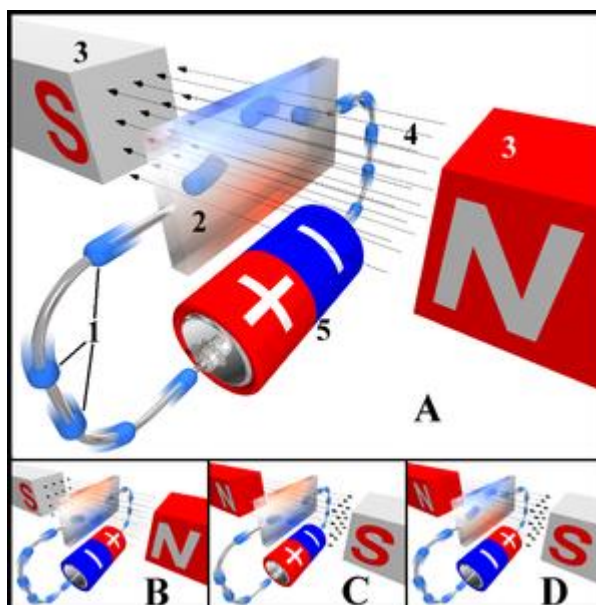
2.1 Holov efekat

Halov efekat se javlja usled sila koje deluju unutar provodnika izloženog magnetnom polju, ova pojava je imenovana po američkom naučniku Edvinu Herbertu Holu (eng. Edwin Herbert Hall, 1855-1938) u kojoj u materijalu (čvrstog agregatnog stanja) kroz koji je propuštena

struja i koji je postavljen u spoljašnje magnetno polje dolazi do pojave napona čiji je pravac upravan na pravac magnetnog polja.

Holov efekat se javlja usled sila koje deluju unutar provodnika izloženog magnetnom polju. Kada se provodnik unese u spoljašnje magnetno polje, indukcije V , tada na slobodne nosioce naelektrisanja deluje tzv. Lorencova sila.

Hol je u ovom eksperimentu koristio trakasti provodnik, kako bi praktično realizovao pretpostavku isključivo ravanskog kretanja naelektrisanja unutar polja, odnosno kretanja koje je potpuno upravno na pravac vektora magnetne indukcije. Ova pretpostavka olakšava izračunavanje Lorencove sile i istovremeno rezultate eksperimenta čini jasnijim i očiglednijim. Tako se, usled ravanske geometrije provodnika, tok elektrona smatra približno jednoslojnim a njihovo kretanje unutar tog jednog sloja provodnika isključivo u „horizontalnom“ i „vertikalnom“ pravcu (Slika 1).



Slika 1 - Holov efekat

Slika 1 je podeljena na četiri crteža. Na crtežu "A", vidimo Holov element, unutar koga se negativna naelektrisanja usmeravaju ka gornjoj ivici (osenčena plavom bojom) a pozitivna ka donjoj ivici (osenčenoj crvenom bojom). Brojevne oznake redom predstavljaju:

1. Elektroni
2. Holov element ili Holov senzor
3. Magneti
4. Magnetno polje
5. Izvor napajanja

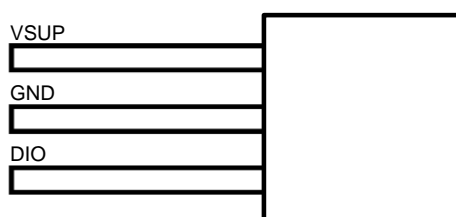
Na slikama "B" i "C", su prikazane posledice obrtanja polariteta bilo magnetnog polja, bilo izvora struje, usled čega se menja polarizacija i smer kretanja naelektrisanja. Istovremeno

obrtnanje polariteta magnetnog polja (prikazano na slici "D") dovodi do istovetne situacije kao na crtežu "A".

2.2 Arhitektura senzora na bazi Holovog efekta

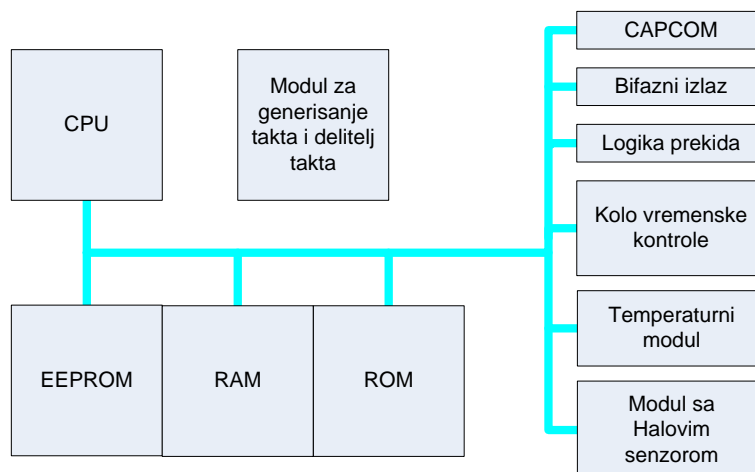
Senzori na bazi Holovog efekta su najčešće programabilni linearni senzori koji su izrađeni u CMOS tehnologiji i sadrže 3 nožice (Slika 2):

1. VSUP koja predstavlja napajanje senzora,
2. GND koja predstavlja masu, i
3. DIO ulazno/izlazna nožica za slanje izmerene vrednosti magnetnog polja i kalibraciju senzora.



Slika 2 - Senzor na bazi Holovog efekta

Slika 3 prikazuje uobičajenu fizičku arhitekturu senzora na bazi Holovog efekta. Holov senzor sadrži mikrokontroler, memoriju, modul za generisanje takta, kolo vremenske kontrole, logiku za prekide, modul za bifazni izlaz, modul „CAPCOM“, temperaturni senzor i modul sa Holovim senzorom.



Slika 3 - Fizička arhitektura senzora na bazi Holovog efekta

2.3 Opis arhitekture senzora na bazi Holovog efekta

2.3.1 Procesor

Procesor predstavlja centralni deo senzora. Ponašanje senzora (režimi rada, obrada signala) je definisano programskom podrškom a uloga procesora je izvršavanje programskih instrukcija.

2.3.2 Memorija

Holovi senzori sadrže programsku memoriju (FLASH/ROM), memoriju sa slučajnim pristupom (RAM) i EEPROM memoriju. Programski kod je smešten u programskoj memoriji. RAM memorija je rezervisana za stek i promenljive koje programska podrška trenutno koristi. EEPROM memorija služi za čuvanje parametara pomoću kojih se konfiguriše rad senzora (parametri protokola/obrade signala).

2.3.3 Modul za generisanje takta i delitelj takta

Holov senzor sadrži modul za generisanje takta. Ovaj modul generiše sistemski takt (takt rada mikroprocesora) kao i taktove za periferne module.

2.3.4 Modul sa Holovim senzorom

Modul sa Holovim senzorom služi za merenje jačine magnetnog polja. On se sastoji od četiri Holove pločice, konvertora iz analognog u digitalni signal, filtera, i sprege sa okruženjem koja obaveštava mikroprocesor prekidom za svaku novu Holovu vrednost. Opseg, odnosno osetljivost senzora na jačinu magnetnog polja je promenljiva, i menja se promenom vrednosti određenog EEPROM parametra.

2.3.5 Temperaturni modul

Pošto izmerena vrednost magnetnog polja veoma zavisi od temperature okruženja, u Holove senzore se ugrađuje i temperaturni modul.

Temperaturni modul se sastoji od temperaturnog senzora i sprege sa okruženjem. Temperaturni senzor meri temperaturu dok sprege sa okruženjem obaveštava mikroprocesor prekidom za svaku novu izmerenu vrednost. Izmerena vrednost temperature se koristi za temperaturnu kompenzaciju izmerene Holove vrednosti.

2.3.6 Logika prekida

Logika prekida služi za rukovanje prekidima generisanih od strane perifernih modula senzora. Logika prekida je povezana sa ulazom za prekide na mikroprocesoru. Ova veza omogućuje da se u programskoj podršci kontrolišu prekidi.

2.3.6.1 Princip funkcionisanja modula

Obrada prekida određenog modula se omogućuje upisivanjem „1“ u odgovarajući statusni bit za omogućavanje prekida. Opadajuća ivica izvora prekida postavlja odgovarajući statusni bit, odnosno označava da se prekid dogodio. Ukoliko je odgovarajući prekid omogućen i ukoliko se dogodio, izvršava se rutina za obradu prekida.

2.3.7 Modul za bifazno slanje

Modul za bifazno slanje služi za slanje serijskih podataka ka spoljašnjem uređaju u skladu sa bifaznim-M komunikacionim protokolom. Poglavlje 3 opisuje bifaznom-M komunikacioni protokol. Modul se sastoji od:

- 16 + 1-bitnog pomeračkog registra,
- generatora CRC koda,
- multipleksera ,
- generatora koda za bifazno slanje,
- kontrolnog registra (BPC),
- kontrolne logike i
- bifazne frekvencije (BPCLK)

2.3.7.1 Princip funkcionisanja modula

Modul za bifazno slanje obezbeđuje dve operacije:

- slanje telegrama sa podacima kao odgovor na komande za čitanje, i
- slanje telegrama sa signalom potvrde kao odgovor na komande za upis.

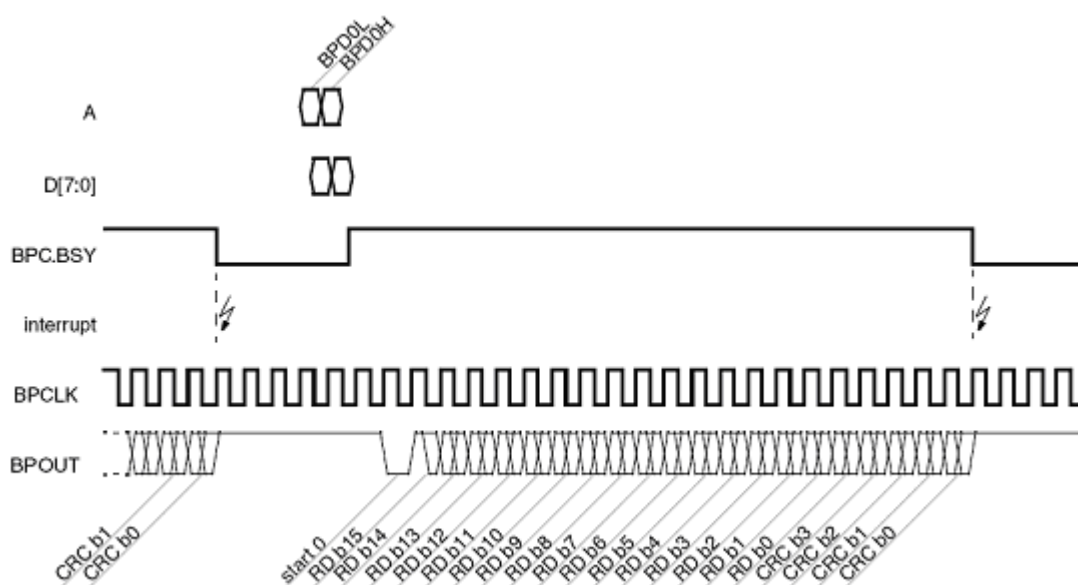
Odgovarajućim prekidom ovaj modul obaveštava mikroprocesor o završetku slanja bifaznog telegrama. Širina impulsa u bifaznom telegramu, odnosno širina jednog bita telegrama se može promeniti promenom bifazne frekvencije (BPCLK) modula za bifazno slanje. Tabela 1 prikazuje koje širine bita telegrama se mogu dobiti u zavisnosti od bifazne frekvencije BPCLK.

Širina bita	BPCLK frekvencija	Delitelji frekvencija za $f_{sys} = 8 \text{ Mhz}$
16 μs	62.5 kHz	f7
32 μs	31.250 kHz	f8
64 μs	15.625 kHz	f9
128 μs	7.813 kHz	f10
256 μs	3.906 kHz	f11
512 μs	1.953 kHz	f12
1024 μs	977 Hz	f13
2048 μs	488 Hz	f14

Tabela 1 - Širina bita i odgovarajuće frekvencije

2.3.7.2 Slanje podataka preko modula za bifazno slanje

Upisom podataka za slanje u 16-bitni registar BPD0 otpočinje slanje bifaznog telegrama. Pomeračkom registru BPD0 se mora pristupiti prvo preko nižeg bajta. Posle upisa u viši bajt statusni bit BPC.BSY se postavlja na visok nivo nakon čega startuje transmisija telegrama sa podacima. Startni bit i 16 bita podataka se pomeraju ka generatoru koda za bifazni izlaz i u paraleli ka generatoru CRC koda. Odmah nakon pomeranja svih 17 bita ka generatoru koda za bifazni izlaz, izračunati CRC biti se takođe pomeraju ka generatoru koda za bifazni izlaz. Na kraju kodovanja i slanja četvrtog CRC bita, slanje bifaznog telegrama je završeno, statusni bit BPC.BSY se spušta na niski nivo i postavlja se prekid. CRC kod se može pročitati iz nižeg bajta registra BPD0. Slika 4 prikazuje slanje bifaznog telegrama sa podacima.

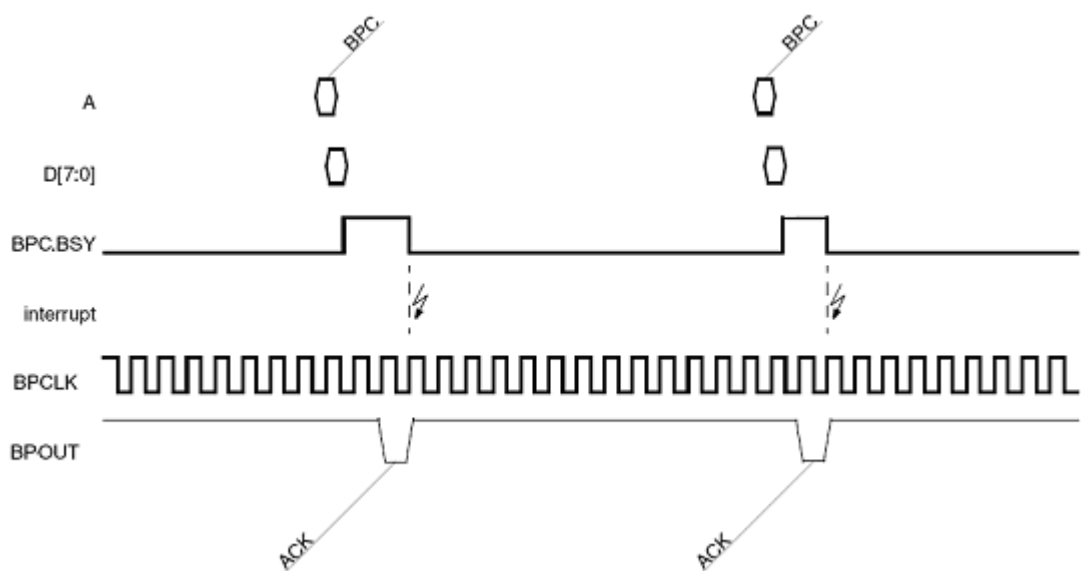


Slika 4 - Slanje 16-bitnih podataka preko bifaznog izlaza

2.3.7.3 Slanje signala potvrde preko modula za bifazno slanje

Signal potvrde služi za obaveštavanje vodećeg električnog uređaja o uspešnom upisu podataka u memoriju. Slanje signala potvrde se inicira upisom logičke jedinice u statusni bit BPC.TACK.

Nakon upisivanja „1“ u statusni bit BPC.TACK, statusni bit BPC.BSY se postavlja na visok nivo nakon čeka kreće transmisija signala potvrde. Signal potvrde je širine jednog bita (tipična vrednost je 1024 μ s). Na kraju slanja signala potvrde, statusni bit BPC.BSY se postavlja na nizak nivo i postavlja se prekid. Slika 5 prikazuje slanje signala potvrde.



Slika 5 - Slanje signala potvrde preko bifaznog izlaza

2.3.8 Modul „CaptureCompare“(CAPCOM)

Modul CAPCOM predstavlja jedan kompleksni brojač, koji meri relativno vreme i koji se koristi za merenje širine vremena bita tako što meri relativno vreme između dve uzastopne ivice.

Podjedinica je u stanju da registruje odnosno zabeleži relativno vreme u trenutku kada se dogodi spoljašnji događaj na ulazu i da generiše izlazni signal kada 16-bitni brojač CaptureCompareCounter izbroji predefinisanu vrednost.

2.3.8.1 Princip funkcionisanja modula

Modul CAPCOM se sastoji od 16-bitnog brojača CaptureCompareCounter i jedne podjedinice. Podjedinica sadrži poseban 16-bitni registar (Capture-Register) za opciju „prihvati“ u koji smešta vrednost brojača CaptureCompareCounter kada se dogodi prekid na ulazni događaj.

Podjedinica takođe sadrži poseban 16-bitni registar (Compare-Register) za opciju „upoređi“, jedan 8-bitni registar za prekide CaptureCompareInterrupt i jedan 8-bitni registar za odabir načina rada modula CaptureCompareMode. Slobodni brojač CaptureCompareCounter ima jedan izlaz za prekid, a podjedinica ima dva izlaza za prekide.

Nakon sistemskog reseta CAPCOM modul se nalazi u stanju mirovanja, sve dok se ne pokrene slobodni brojač CaptureCompareCounter. U stanju mirovanja, CaptureCompareCounter je resetovan na inicijalnu vrednost 0x0000.

2.3.8.2 Rad slobodnog brojača CaptureCompareCounter

Za pokretanje CAPCOM modula i stavljanja u aktivni mod, neophodno je aktivirati rad slobodnog brojača CaptureCompareCounter, postavljanjem statusnog bita SR0.CCC na logičku jedinicu. SR0 registar dozvoljava korisniku da omogućuje i onemogućuje rad pojedinih modula, što omogućuje smanjenu potrošnju struje ukoliko rad tih modula nije neophodan.

Nakon aktiviranja, brojač CaptureCompareCounter odmah startuje sa brojanjem odabranom frekvencijom i omogućuje isporučivanje 16-bitne vrednosti podjedinici.

Trenutna vrednost brojača se može pročitati iz 16-bitnog registra CaptureCompareCounter, prvo se pristupa donjem bajtu. Sa vremena na vreme slobodni brojač CaptureCompareCounter će izbrojati do predefinisane vrednosti što će dovesti do pojave prekida.

2.3.8.3 Ulazna logika

Ulazna logika je osetljiva na spoljašnje događaje i u zavisnosti od vrednosti statusnih bita CaptureCompareMode.IAM ulazna logika može da ignoriše ulazne signale, da bude osetljiva na rastuću ili opadajuću ivicu, ili da bude osetljiva na obe ivice.

Širina ulaznog pulsa mora biti veća od $f_0/2$, manje širine neće biti detektovane. Kada se ulazna logika aktivira na neku od ivica, kao posledica se odvija sledeći niz akcija:

- Postavi se statusni bit CaptureCompareInterrupt.CAP
- Aktivira se CCOR prekid
- 16-bitni „Capture-Register“ čuva trenutnu vrednost slobodnog brojača CaptureCompareCounter, odnosno „vreme“ nekog spoljašnjeg događaja. Prvo je potrebno čitati niži bajt „Capture-Register“ registra, jer je nakon čitanja višeg bajta registra omogućeno ponovno prihvatanje podataka. Dakle, dok se ne pročita viši bajt „Capture-Register“ registra, CAPCOM modul je zaključan za dalje prihvatanje ivica.

2.3.9 Modul kolo vremenske kontrole

Holov senzor sadrži jedno kolo vremenske kontrole.

2.3.9.1 Princip funcionisanja modula

Modul se sastoji od 16-bitnog brojača na dole TIMCNT, logike za režim rada kola vremenske kontrole i logike za prekid.

Modul kola vremenske kontrole se konfigurira pomoću registra za odabir režima rada TIMMOD, 16-bitnog registra koji sadrži početnu vrednost brojanja TIMRLD i statusog bita koji služi za omogućavanje rada kola vremenske kontrole, SR0.TIM.

16-bitni brojač na dole TIMCNT dobija takt preko delitelja takta i broji na dole dok ne dostigne 0. Brojač se restartuje, odnosno počinje sa brojanjem ispočetka, na dva načina:

- forsirano restartovanje brojanja brojača i
- automatsko restartovanje brojanja brojača kada dostigne nulu

Postoje različite mogućnosti za forsirano restartovanje brojača. Svaki tip forsiranog restartovanja se može omogućiti upisivanjem „1“ u odgovarajući statusni bit u TIMMOD registru. Tipovi forsiranog restartovanja su:

- „Restartovanje brojanja na upis“ koje je omogućeno postavljanjem statusnog bita TIMMOD.WRREL
- „Restartovanje brojanja na spoljašnji signal“ koje je omogućeno postavljanjem statusnog bita TIMMOD.EXREL.
- „Restartovanje u stanju mirovanja“ koje je omogućeno postavljanjem statusnog bita TIMMOD.SBREL.

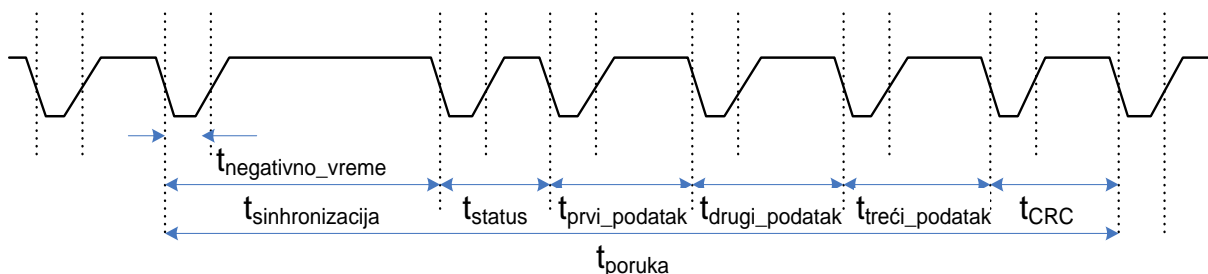
Automatsko restartovanje brojača se reguliše statusnim bitom TIMMOD.ONES. Ukoliko je TIMMOD.ONES postavljen na „1“ brojač će samo jednom izbrojati do 0.

2.4 Režimi rada Holovih senzora

Holovi senzori rade u dva režima: aplikacionom (radnom) i kalibracionom režimu.

U aplikacionom režimu senzor preko DIO nožice konstantno šalje temperaturno kompenzovanu Holovu vrednost ka električnom kontrolnom uređaju u automobilu u skladu sa definisanim komunikacionim protokolom (PWM, LIN, SENT, itd.) Senzor koji je korišćen u ovom radu izmerenu vrednost magnetnog polja šalje u skladu sa SENT komunikacionim protokolom.

SENT signal se sastoji iz sinhronizacionog /kalibracionog impulsa, statusnog/komunikacionog impulsa, tri impulsa koja sadrže informaciju o izmerenoj vrednosti magnetnog polja i kontrolnog CRC impulsa. Slika 6 prikazuje SENT signal.



Slika 6 - SENT signal

Kalibracioni režim rada se koristi za podešavanje parametara senzora. U ovom režimu rada je omogućeno proizvođačima automobila da prilagode karakteristike senzora svojim potrebama. Podešavanje parametara senzora obuhvata:

- podešavanje parametara temperaturne kompenzacije (temperaturni koeficijenti),
- podešavanje parametara SENT komunikacionog protokola (period SENT impulsa, $t_{\text{negativno_vreme}}$, nagib opadajuće i rastuće ivice)

U kalibracionom režimu rada senzora je omogućena dvosmerna komunikacija između senzora i električnog kontrolnog uređaja. Komunikacija se vrši u skladu sa bifaznim-M komunikacionim protokolom. Senzor preko DIO nožice prima komande od električne kontrolne jedinice, obrađuje ih i šalje odgovor nazad.

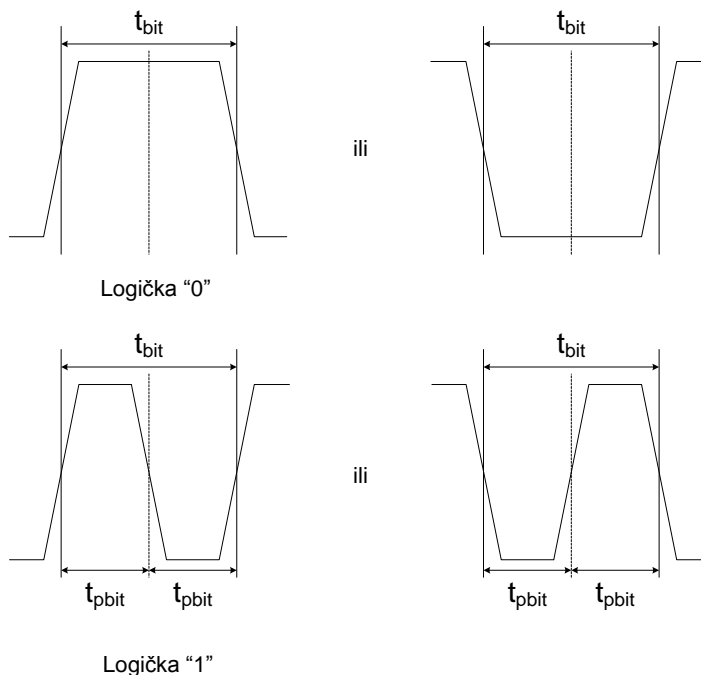
Zadatak ovog diplomskog rada je realizacija programske podrške za kalibracioni režim rada senzora.

3. Bifazni-M komunikacioni protokol

Ovo poglavlje opisuje bifazni-M komunikacioni protokol, u nastavku je dat opis protokola i podržane komande.

3.1 Bifazno-M kodovanje

Bifazni-M protokol je serijski protokol sa konstantnim vremenom prenosa jedinice informacije (bit) tokom slanja celog telegrama. Logička „0“ je kodovana kao izlaz bez promene naponskih nivoa za vreme prenosa jednog bita. Logička „1“ je kodovana kao izlaz sa promenom naponskih nivoa na sredini vremena prenosa jednog bita. Slika 7 prikazuje način kodovanja informacije bifaznog-M protokola.



Slika 7 - Kodovanje informacije bifaznog-M protokola

Tabela 2 prikazuje karakterisitike bita senzora, odnosno vreme trajanja bita, polovine bita, vreme odgovora i razmaka između dva telegrama specificirana od strane proizvođača senzora.

Simbol	Min.	Tipično	Maks.	Jedinica
Vreme bita (t_{bit})	820	1024	1225	μs
Vreme polovine bita (t_{pbit})	-	0.5	-	vreme bita
Vreme između telegrama	2	-	-	vreme bita
Vreme odgovora	1	-	5	vreme bita

Tabela 2 - Bifazne karakteristike senzora

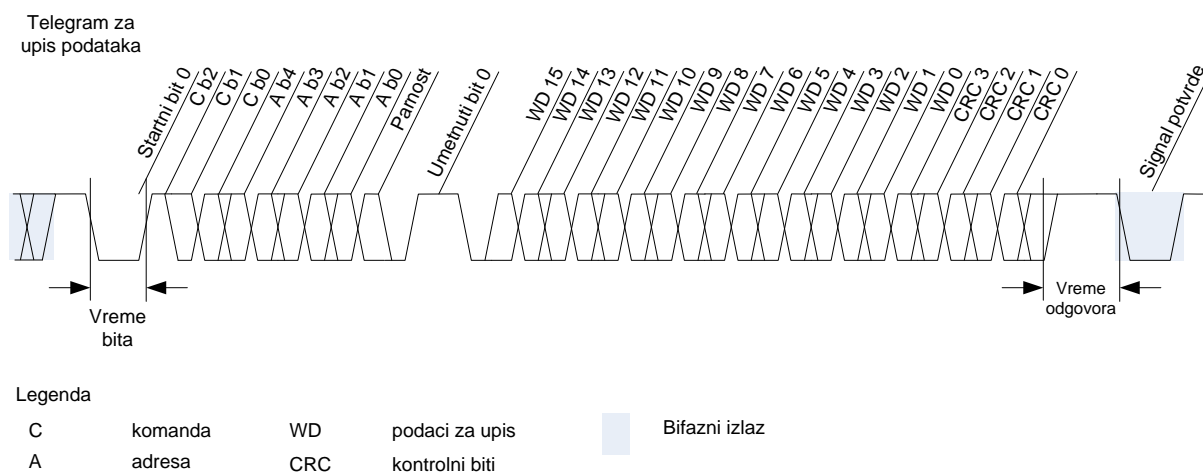
Postoje dva tipa telegrama:

1. Telegram za upis podataka
2. Telegram za čitanje podataka

3.1.1 Telegram za upis podataka

Telegram za upis podataka se sastoji od zaglavlja, tela, i signala potvrde. Slika 8 prikazuje izgled telegrama za upis podataka. Telegram za upis podataka je namenjen za komande kao što su „upis bajta sa baznom adresom“, „upis reči sa baznom adresom“ i „postavljanje bazne adrese“ (podpoglavlje 3.2. Podržane bifazne komande).

Zaglavlje i telo se šalju od strane vodećeg uređaja ka senzoru. Senzor šalje signal potvrde ukoliko su zaglavlje i telo uspešno prihvaćeni, i ukoliko je komanda uspešno izvršena.



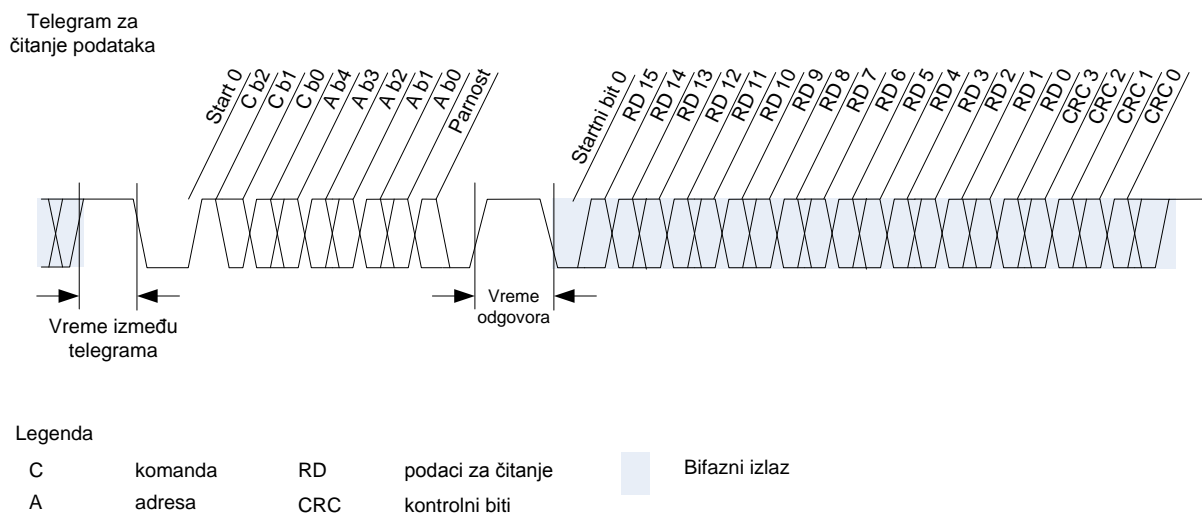
Slika 8 - Grafički prikaz telegrama za upis podataka

Zaglavlje telegrama se sastoji od startnog/sinhronizacionog bita („0“) praćenog sa 3 komandna bita, 5 adresnih bitova i jednim bitom parnosti.

Telo telegrama se sastoji od jednog umetnutog bita , 16 bita podataka i 4 kontrolna CRC bita (CRC se računa iz 16 bita podataka). Razmak između zaglavlja i tela telegrama nije dozvoljen. Vreme između slanja telegrama i signala potvrde (vreme odgovora) zavisi od vremena izvršavanja komande samog senzora. Vreme odgovora, odnosno vreme dok senzor ne pošalje signal potvrde, traje najmanje jedan bit.

3.1.2 Telegram za čitanje podataka

Telegram za čitanje podataka se sastoji od zaglavlja i tela. Slika 9 prikazuje izgled telegrama za čitanje podataka. Telegram za čitanje podataka je namenjen za komande kao što je „čitanje sa baznom adresom“ i „čitanje sa apsolutnom adresom“ (podpoglavlje 3.2. Podržane bifazne komande).



Slika 9 - Grafički prikaz telegrama za čitanje podataka

Vodeći uređaj započinje čitanje podataka slanjem zaglavlja senzoru, i zaglavlje telegrama za čitanje je isto kao kod telegrama za upis podataka. Senzor kao odgovor šalje telo telegrama ukoliko je zaglavlje uspešno primljeno i komanda uspešno izvršena.

Telo telegrama za čitanje podataka se sastoji od startnog bita („0“), 16 bita podataka i 4 CRC bita. Vreme između slanja telegrama i signala potvrde (vreme odgovora) zavisi od vremena izvršavanja komande samog senzora. Vreme odgovora, odnosno vreme dok senzor ne pošalje signal potvrde, traje najmanje jedan bit.

Za računanje bita parnosti se koriste startni bit, biti komande i adresni biti. U slučaju kada je primljen paran broj „1“, parnost treba da bude „1“. U slučaju kada je primljen neparan broj „1“, parnost treba da bude „0“.

3.2 Podržane bifazne komande

Senzor podržava 5 bifaznih komandi koje omogućuju čitanje i upis po memoriji (RAM, EEPROM). Tabela 3 prikazuje podržane komande.

Naziv Komande	Kod komande b[2:0]	Tip telegrama	Adresa b[4:0]	D b[15:8] (RD/WD)	D b[7:0] (RD/WD)
Čitanje sa apsolutnom adresom	0	čitanje	apsolutna adresa (0 do 31)	čitanje podataka sa adrese: A+1	čitanje podataka sa adrese: A
Čitanje sa baznom adresom	1	čitanje	adresno odstojanje (0 do 31)	čitanje podataka sa adrese: bazna adresa + A + 1	čitanje podataka sa adrese: bazna adresa + A
Postavljanje bazne adrese	3	upis	nebitno	bazna adresa(16-bit)	
Upis bajta sa baznom adresom	5	upis	adresno odstojanje (0 do 31)	nebitno	podatak koji se upisuje na: bazna adresa + A
Upis reči sa baznom adresom	6	upis	adresno odstojanje (0 do 31)	podatak koji se upisuje na: bazna adresa + A + 1	podatak koji se upisuje na: bazna adresa + A

Tabela 3 - Podržane komande

3.2.1 Komanda „postavljanje bazne adrese“

Komanda „postavljanje bazne adrese“ služi za upis nove bazne adrese u posebnu promenljivu namenjenu za čuvanje bazne adrese. Kasnije se da vrednost koristi za računanje efektivne adrese u komandama koje za svoje izvršavanje moraju da imaju postavljenu baznu adresu.

Za prenos bazne adrese se koristi telegram za upis podataka. Bazna adresa je definisana sa dva bajta WD[15:0] što omogućuje da se pristupi svakoj memorijskoj lokaciji u memoriji. Nakon slanja telegrama za „postavljanje bazne adrese“, senzor šalje signal potvrde ukoliko greška nije detektovana.

3.2.2 Komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“

Komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“ koristi telegram za čitanje podataka. Senzor šalje podatke sa efektivne adrese nakon što je zaglavlje uspešno prihvaćeno i efektivna adresa odgovara opsegu za čitanje. U slučaju greške senzor ne šalje signal potvrde.

Efektivna adresa je definisana sa adresnim bitima iz zaglavlja telegrama (A b[4:0]). Stoga, ovim telegramom se jedino mogu pročitati prvih 32 bajta u memoriji.

3.2.3 Komanda „čitanje sa baznom adresom“

Komanda „čitanje sa baznom adresom“ koristi telegram za čitanje podataka. Senzor šalje podatke sa efektivne adrese nakon što je zaglavlje poruke uspešno prihvaćeno i efektivna adresa odgovara opesgu za čitanje.

Efektivna adresa se dobije kada adresno odstojanje dodamo na baznu adresu. Adresno odstojanje je definisano adresnim bitima iz zaglavlja telegrama (A b[4:0]).

3.2.4 Komanda „upis bajta sa baznom adresom“

Komanda „upis bajta sa baznom adresom“ koristi telegram za upis podataka. Senzor smešta primljene podatke (WD b[7:0]) na efektivnu adresu i kao odgovor šalje signal potvrde. Signal potvrde se šalje samo nakon što su zaglavlje i podaci uspešno primljeni, i ukoliko je efektivna adresa u opsegu dozvoljenih adresa za upis podataka, u protivnom komanda je odbačena i senzor ne šalje signal potvrde.

3.2.5 Komanda „upis reči sa baznom adresom“

Komanda „upis reči sa baznom adresom“ koristi telegram za upis podataka. Senzor skladišti dva bajta primljenih podatka (WD b[15:0]) na efektivnu adresu i na prvu sledeću memorijsku lokaciju, i kao odgovor šalje signal potvrde.

Signal potvrde se šalje samo nakon što su zaglavlje i podaci uspešno primljeni, i ukoliko je efektivna adresa u opsegu dozvoljenih adresa za upis podataka, u protivnom komanda je odbačena i senzor ne šalje signal potvrde.

3.2.6 Specijalni slučajeви

Nakon startovanja senzora, radi pravilnog izvršavanja komandi „čitanje sa baznom adresom“, „upis bajta sa baznom adresom“ i „upis reči sa baznom adresom“ neophodno je da senzor primi telegram sa komandom „postavljanje bazne adrese“ sa adresom različitim od 0xFFFF.

4. Implementacija kalibracionog režima rada

U ovom poglavlju je opisano razvojno okruženje i implementacija programske podrške.

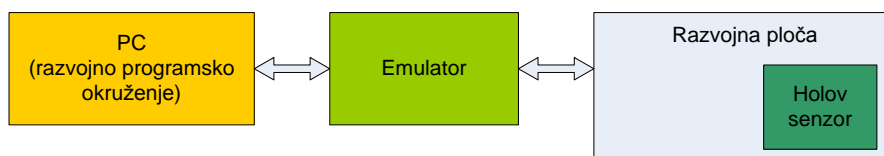
4.1 Razvojno okruženje

Za razvoj i verifikaciju programske podrške kalibracionog režima rada korišćeno je sledeće razvojno okruženje:

1. Razvojna ploča senzora na kojoj se nalazi sam senzor.
2. Okruženje za razvoj programske podrške na personalnom računaru,.
3. Emulator, koji se koristi za verifikaciju razvijene programske podrške, kao i za detektovanje i otklanjanje grešaka.

Slika 10 prikazuje razvojno okruženje. Za razvoj programske podrške na PC strani se koristi razvojno programsko okruženje od proizvođača senzora. U ovo okruženje je integrisan prevodilac asemblerskog koda, kao i ručovalac uređajem za upravljanje Emulator-om. Rezultat razvoja programske podrške je izvršna datoteka u hex(.bin) formatu.

Korišćenjem Emulator-a je omogućena verifikacija programske podrške, kao i detektovanje i otkrivanje grešaka.

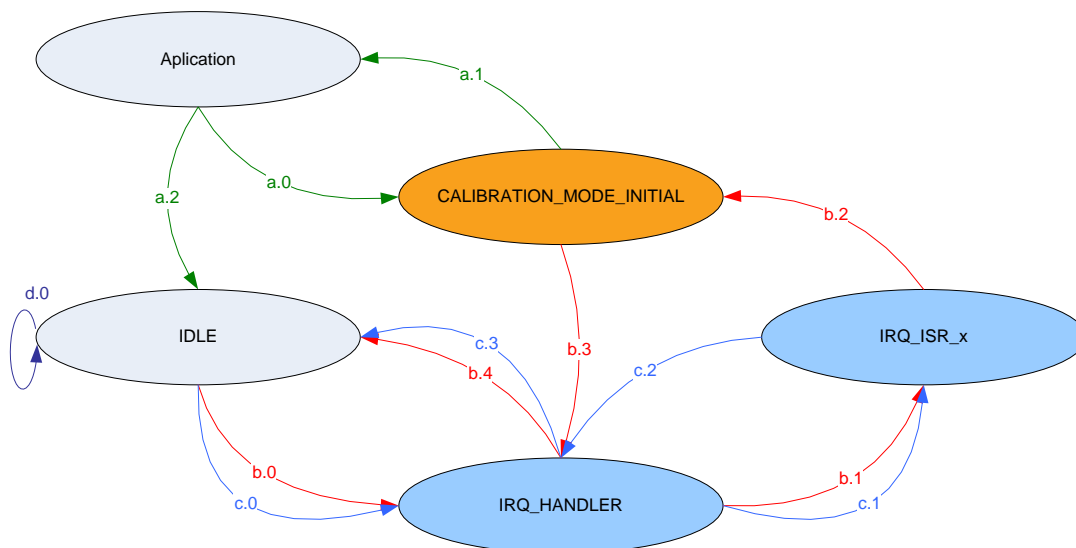


Slika 10 - Razvojno okruženje

4.2 Implementacija programske podrške

4.2.1 Programski tok

Slika 11 prikazuje tok programa u kalibracionom režimu rada senzora. Programska rutina Application (Slika 11) predstavlja polaznu tačku prilikom izvršavanja programske podrške i njena adresa je definisana u tabeli CPU vektora na adresi reset vektora (0xFFFFC). Rutina CALIBRATION_MODE_INITIAL postavlja početno stanje senzora (inicijalizuje promenljive kalibracionog režima). Programska rutina IDLE predstavlja glavnu programsku petlju koja se neprestano izvršava i iz koje se izlazi samo u slučaju prekida. Programska rutina IRQ_HANDLER prestavlja rukovaoc prekidima, dok IRQ_ISR_x prestavlja prekidnu rutinu određenog modula koji je izazvao prekid.



Slika 11 - Tok programa kalibracionog režima rada senzora

Strelice a.0 do a.2 označavaju tok koji se odigrava prilikom startovanja senzora. Strelice c.0 do c.3 označavaju tok programa koji se odvija prilikom prijema bifazne-M poruke. Strelice b.0 do b.4 označavaju tok programa koji se odvija nakon slanja podataka bifaznim protokolom ili signala potvrde, ili ukoliko je nastala greška prilikom prijema bifazne-M poruke. Strelica d.0 označava stanje u kojem sensor čeka da se dogodi neki od dozvoljenih prekida. Programski tok označen strelicama b.0, b.1, c.0. i c.1 je kontrolisan logikom prekida.

4.2.2 Programske rutine

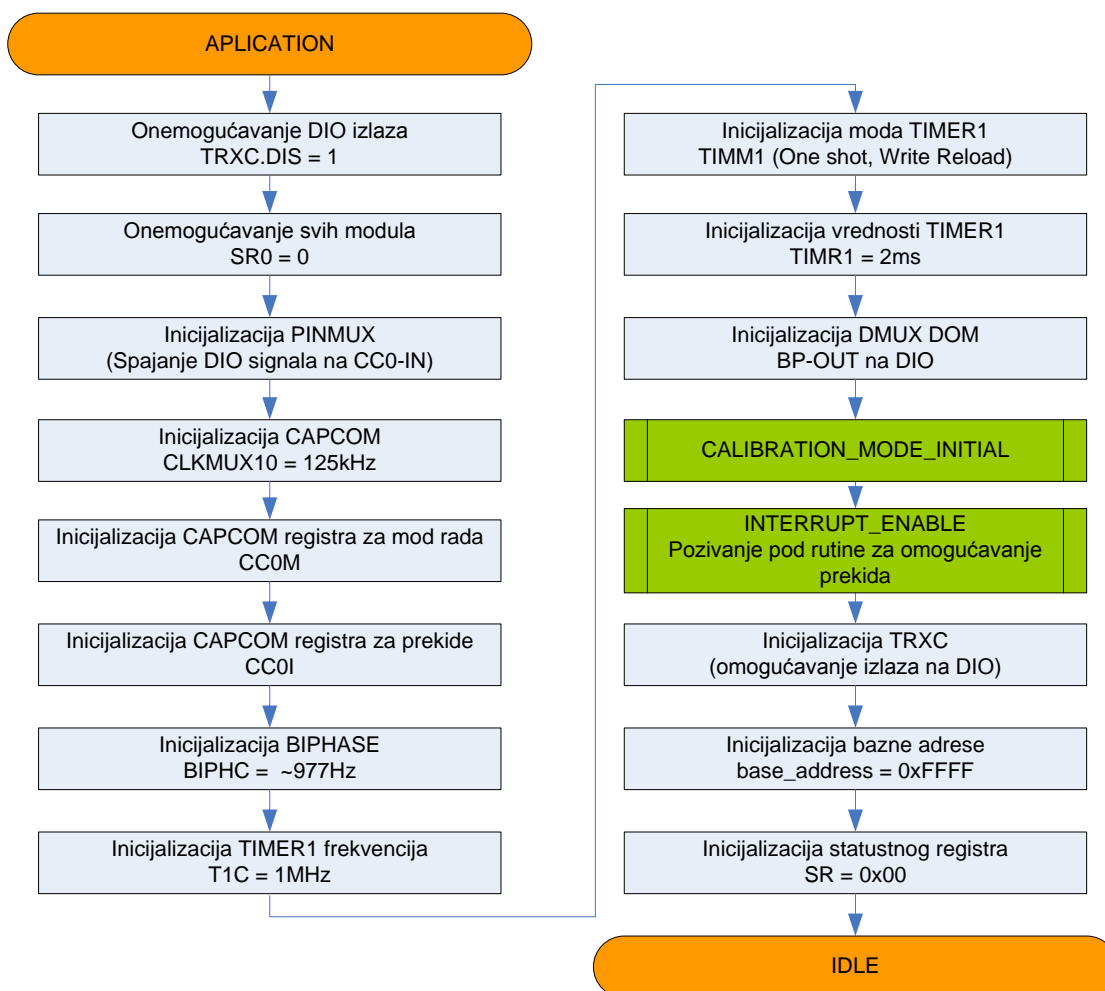
Kompletna funkcionalnost kalibracionog režima rada senzora je zasnovana na prekidnim rutinama. Za kalibracioni režim rada su upotrebljena tri izvora prekida. Tabela 4 prikazuje korištene module i odgovarajuće prekide prilikom realizacije kalibracionog režima rada.

Modul	ISR	Uzrok prekida	Opis funkcionalnosti rutine
modul CAPCOM	IRQ_ISR_5	detektovana je opadajuća ili rastuća ivica na DIO pinu	prima i proverava bifazne-M telegame i sprovodi određenu akciju u zavisnosti na sadržaja telegrama
modul kola za vremensku kontrolu	IRQ_ISR_1	brojač je izbrojao do 0	kontroluje širinu bita
modul za bifazno slanje	IRQ_ISR_9	- izračunat CRC kod, - poslat signal sa podacima kao odgovor na telegram za čitanje - poslat signal potvrde	služi za slanje podataka kao odgovor na telegame za čitanje, slanje signala potvrde, računanje CRC koda

Tabela 4 - Moduli i prekidi u kalibracionom režimu rada

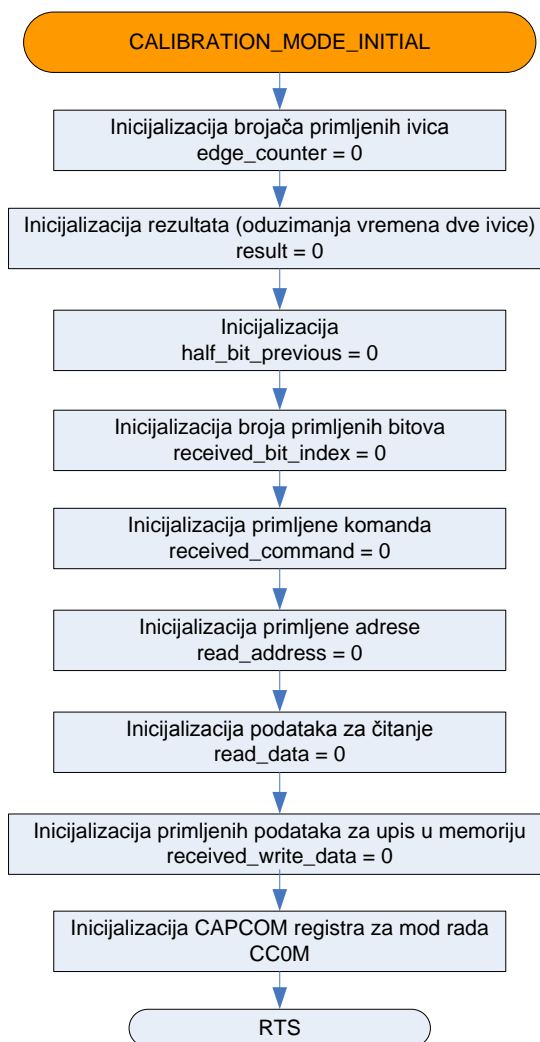
4.2.2.1 Rutina Application i inicijalizacija kalibracionog moda

Nakon startovanja ili reseta senzora vrši se inicijalizacija modula. Slika 12 prikazuje korake izvršavanja toka programa.



Slika 12 - Inicijalizacija senzora nakon reseta

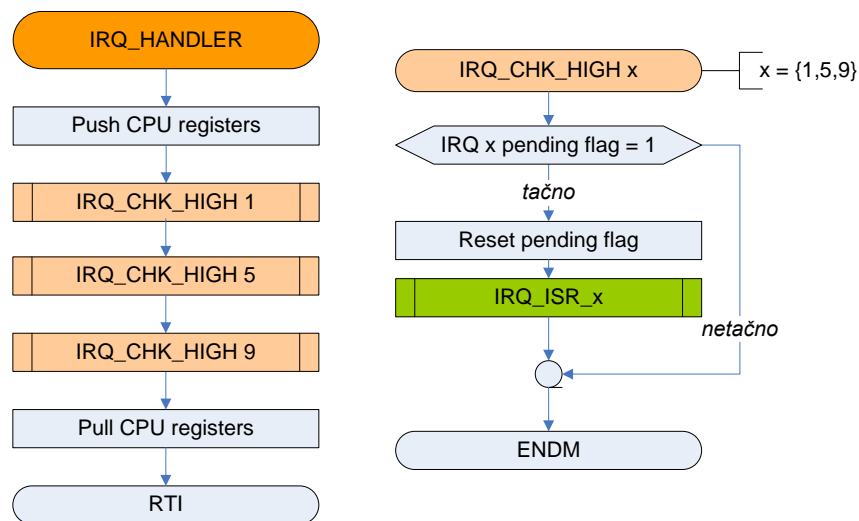
Rutina *CALIBRATION_MODE_INITIAL* se izvršava nakon slanja podataka bifaznim protokolom ili signala potvrde, ili ukoliko je nastala greška prilikom prijema bifazne-M poruke. Slika 13 prikazuje tok programa u rutini *CALIBRATION_MODE_INITIAL*. U ovoj rutini senzor se postavlja u početno stanje, spreman za prijem novih bifaznih-M poruka.



Slika 13 - Rutina *CALIBRATION_MODE_INITIAL*

4.2.2.2 Rukovalac prekidima (*IRQ_HANDLER*)

Rukovalac prekidima *IRQ_HANDLER* se poziva nakon što se dogodi neki od omogućenih prekida. Rukovalac prekidima traži prekide koji čekaju na izvršavanje i poziva odgovarajuću rutinu prekida *IRQ_ISR_x* (Tabela 4). U slučaju da više prekida odjednom čeka na izvršavanje, rukovalac prekidima poziva odgovarajuću rutinu na osnovu prioriteta i pozicije u tabeli prekida. Za više informacija o logici prekida pogledati poglavlje 2.3.6.



Slika 14 - Tok programa u rukovaocu prekidima IRQ_HANDLER

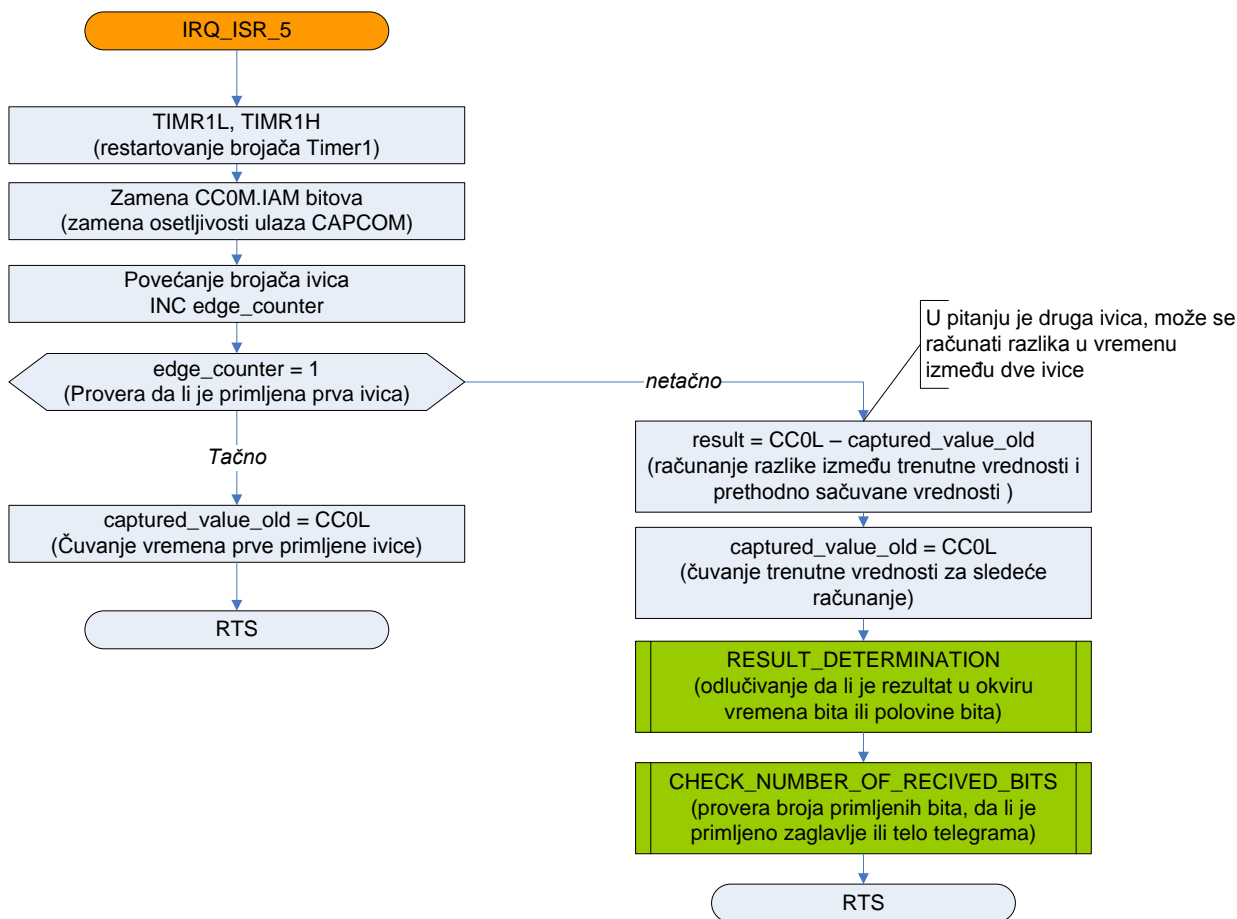
4.2.2.3 Rutina CAPCOM - podjedinica 0 (IRQ_ISR_5)

IRQ_ISR_5 je prekidna rutina modula CAPCOM. Ova prekidna rutina se koristi za proveru da li je primljena poruka u skladu sa bifaznim-M komunikacionim protokolom. Slika 15 predstavlja programski tok prekidne rutine modula CAPCOM.

Radi uspešnog prijema bifaznih-M telegrama podšeno je da se ulaz na DIO pinu prosleđuje na ulaz u CAPCOM modul na CC0-IN. Prilikom detektovanja svake ivice na ulazu u CAPCOM postavlja se prekid, za detaljniji opis pogledati poglavlje 2.3.8.

CAPCOM registar CC0 se čuva u promenljivoj „*captured_value_old*“ svaki put kada se dogodi prekid. Razlika između dve uspešno primljene uzastopne ivice se čuva u promenljivoj „*result*“ (Slika 16). Vrednost promenljive „*result*“ predstavlja vreme između dve uzastopne ivice odnosno vreme bita (pogledati labelu *CALCULATE_TIME* u izvornom kodu).

Na osnovu promenljive „*result*“ se određuje da li je primljena logička „1“ ili „0“, Slika 16 prikazuje programski tok rutine *RESULT_DETERMINATION* (pogledati labelu *RESULT_DETERMINATION* u izvornom kodu).



Slika 15 - Prekidna rutina modula IRQ_ISR_5

Promenljiva „received_bits_index“ se koristi za indeksiranje broja primljenih bita u bifaznom-M telegramu, i ova promenljiva se reinicijalizuje na 0 pre prijema svakog telegrama. Svaki primljeni bit se smešta na posebnu memorijsku lokaciju u nizu „received_bits“. Niz „received_bits“ se sastoji od rezervisanih 32 bajta memorije. U svaki bajt se čuva jedan primljeni bit (10 bit od zaglavlja i 21 bit od tela telegrama).

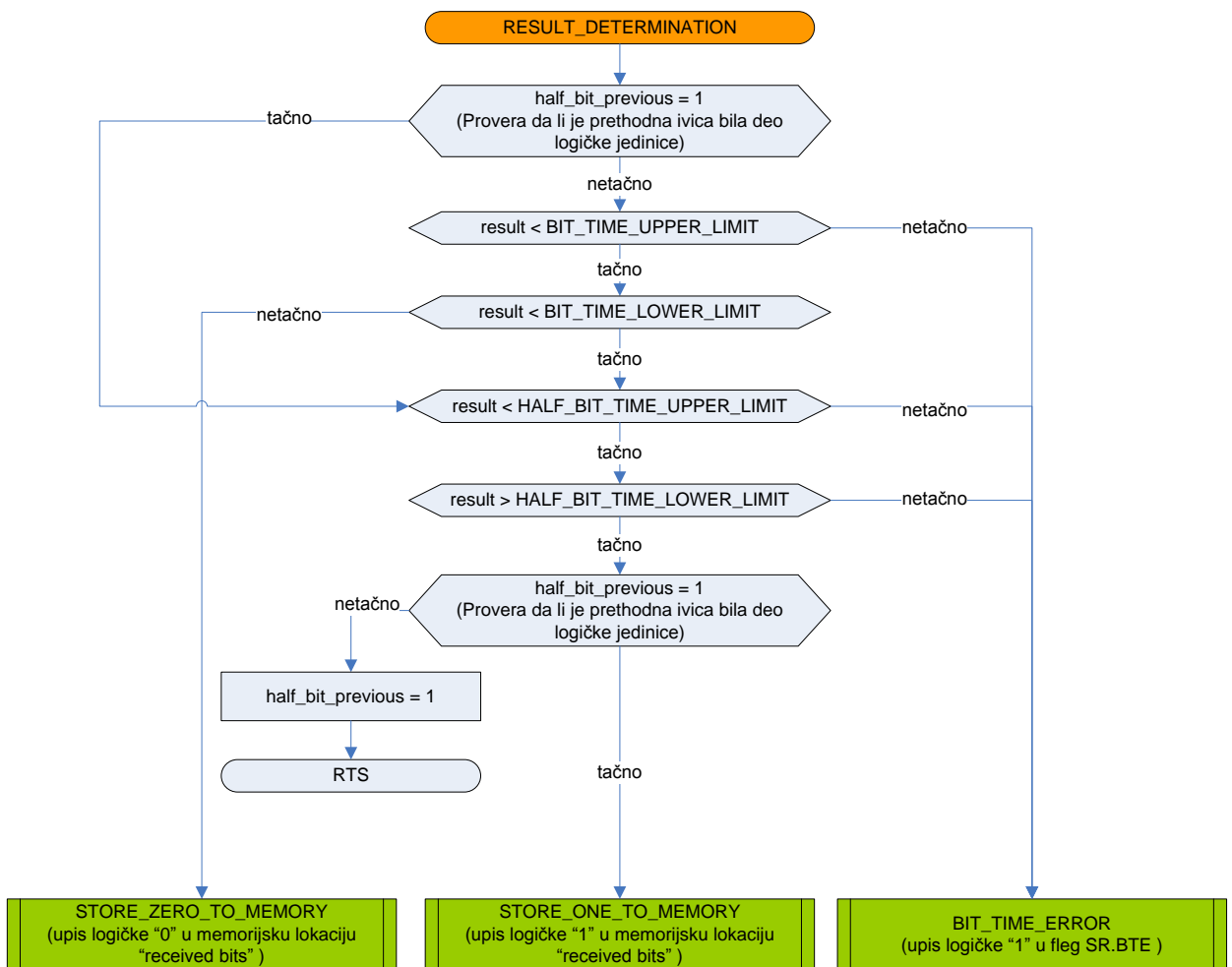
U zavisnosti od vrednosti promenljive „received_bits_index“ dodatne akcije se sprovode :

- Ukoliko je vrednosti promenljive „received_bits_index“ jednaka sa 10 (0xA), odnosno ukoliko je primljeno svih 10 bita zaglavlja, prelazi sa na parsiranje zaglavlja i proveru pojedinačnih delova kao što su startni bit, komanda, adresa, i bit parnosti. Slika 17 prikazuje tok programa u zavisnosti od promenljive „received_bits_index“.
- Ukoliko je vrednosti promenljive „received_bits_index“ jednaka sa 31 (0x1f), odnosno ukoliko je primljeno svih 31 bita telegrama za upis podataka, prelazi se na parsiranje podataka za upis u memoriju i kontrolnih bita CRC. Za kontrolu da li je primljen korektan CRC, senzor sam računa CRC na osnovu primljena dva bajta za upis korišćenjem modula za Bifazni izlaz.

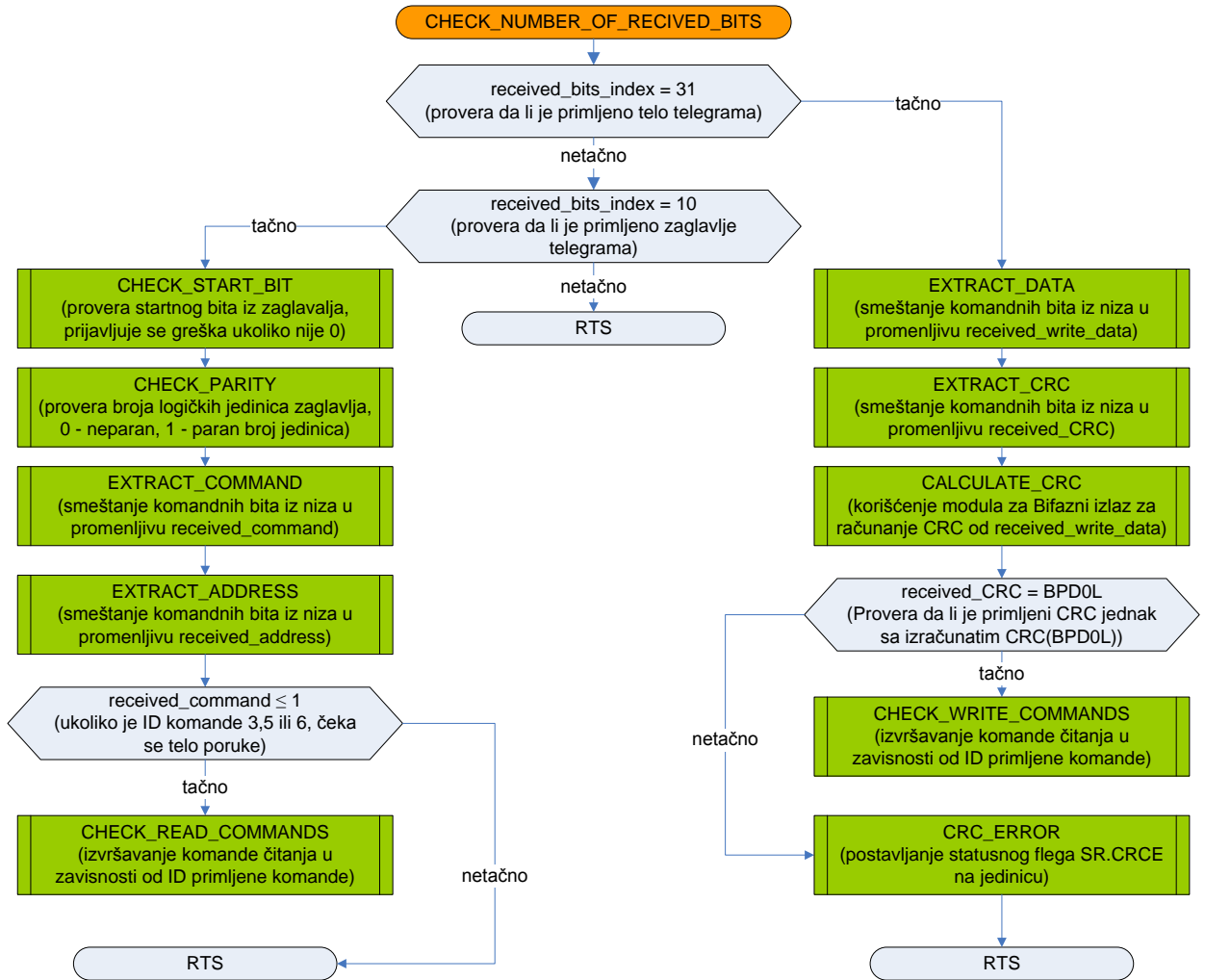
Bifazni-M telegram se sasoji od vrednosti koje su izvučene iz zaglavlja i tela telegrama i sačuvane u posebnim lokacijama. To su:

- komanda (3 bita), sačuvana u promenljivoj „*received_command*“
- adresa (5 bita), sačuvana u promenljivoj „*received_address*“
- podaci za upis (16 bita), sačuvani u promenljivoj „*received_write_data*“
- i kontrolni biti CRC (4 bita), sačuvani u promenljivoj „*received_CRC*“

Biti su smeštani u navedene promenljive iz niza „*received_bits*“ pomoću rutine *ARRAY_PARSER*, kojoj se kao argumenti navode početni i kranji bit, a kao rezultat se dobija vrednost smeštena u jedan bajt. Za više informacija pogledati labelu *ARRAY_PARSER* u izvornom kodu.



Slika 16 - Programski tok rutine za obradu rezultata



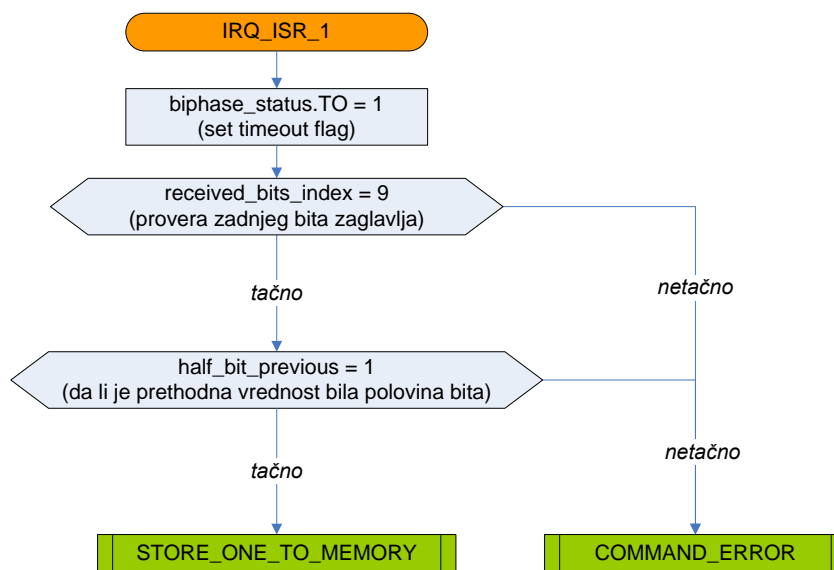
Slika 17 - Programski tok rutine za proveru broja primljenih bita

Rutina *CHECK_READ_COMMANDS* služi za određivanje koja komanda za čitanje je primljena na osnovu ID komande (ID komande prikazuje Tabela 3 kolona C b[2:0]), komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“ ili komanda „čitanje sa baznom adresom“.U zavisnosti od primljenog ID pristupa se izvršavanju određene komande. Za više informacija o implementaciji komandi za čitanje pogledati labelu *READ_WITH_ABSOLUTE_ADDRESS* i *READ_WITH_BASE_ADDRESS* u izvornom kodu.

Rutina *CHECK_WRITE_COMMANDS* služi za određivanje da li je primljena komanda „postavljanje bazne adrese“, ili komande za pisanje „upis bajta sa baznom adresom“ i „upis reči sa baznom adresom“. Na osnovu ID komande se pristupa izvršavanju određene komande. Za više informacija o implementaciji komandi za čitanje pogledati labelu *WRITE_WORD_WITH_BASE_ADDRESS*, *WRITE_BYTE_WITH_BASE_ADDRESS* i *SET_BASE_ADDRESS* u izvornom kodu.

4.2.2.4 Rutina Timer1 (IRQ_ISR_1)

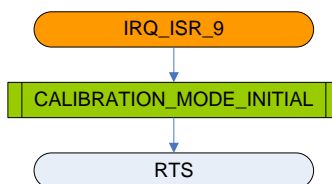
IRQ_ISR_1 je prekidna rutina za brojač Timer1. Brojač Timer1 se koristi za merenje zadatog vremena u svrhu kontrolisanja vremena bita. Odnosno, ne dozvoljava da vreme bita bude veće nego što je specificirano od strane proizvođača, u slučaju da brojač Timer1 izbroji do 0 prijavljuje se greška primljene komande. Brojač Timer1 se aktivira na svaku ulaznu ivicu na DIO pinu i meri zadato vreme. U rutini IRQ_ISR_1 neće doći do prijavljivanja greške ukoliko se na zadnjem (desetom) bitu zaglavlja poruke za očekivanu „1“ pojavi samo jedna polovina bita (Slika 7). Tada se vrši korekcija i veštački se upisuje „1“ u memoriju bez prijavljivanja greške bita i nastavlja se sa parsiranjem pristiglog zaglavlja telegrama.



Slika 18 - Prekidna rutina IRQ_ISR_1

4.2.2.5 Rutina modula za Bifazno slanje (IRQ_ISR_9)

IRQ_ISR_9 je prekidna rutina modula za Bifazno slanje. Slika 19 prikazuje tok programa za IRQ_ISR_9. Ova prekidna rutina se poziva nakon poslatog signala potvrde ili poslatih podataka za čitanje. Odnosno poziva se nakon uspešno izvršene komande kada je neophodno vratiti sensor u početno stanje, odnosno pripremiti sensor za prijem novih komandi. Više informacija o modulu za Bifazno slanje se nalazi u poglavlju 2.3.7.



Slika 19 - Prekidna rutina IRQ_ISR_9

4.2.3 Iskorišćenost resursa

Iskorišćenost resursa je određena pomoću alata za analizu izvršne datoteke u sklopu razvojnog okruženja.

Tabela 5 prikazuje iskorišćenost programske memorije i memorije sa slučajnim pristupom.

ROM (bajt)	RAM (bajt)
783	92

Tabela 5 - Iskorišćenost resursa

5. Verifikacija implementacije kalibracionog režima rada

Ovo poglavlje se bavi verifikacijom implementacije kalibracionog režima rada senzora. Opisana je svrha testiranja, postupak testiranja, korišćeni programski alati, verifikaciona oprema i konfiguracija opreme.

5.1 Programski alati

Programska podrška obuhvata korićene programske alate verifikaciju implementacije.

1. Windows XP Professional, Service Pack 2, instalirani operativni sistem
2. Programski alat proizvođača za razvoj i verifikaciju programske podrške
3. HyperTerminal, programski alat za kontrolu ploče za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola
4. Internet Explorer, programski alat za akviziciju slika sa osciloskopa,
5. ArbExpress Application, programski alat za upravljanje generatorom signala AWG510

5.2 Verifikaciona oprema

Verifikaciona oprema obuhvata uređaje korišćene za verifikaciju implementacije. Tu spadaju:

1. Agilent E3646A Dual Output DC Power Supply, napajanje za razvojnu ploču i Holov senzor.
2. Tektronix Arbitrary Waveform Generator AWG510, generator signala koji se dovode DIO pin, upotrebljava se za slanje telegrama sa greškom kao i za testiranje na nivou telegrama.
3. Tektronix DPO 4104 Digital Phosphor Oscilloscope, služi za merenje širine impulsa signala koji se dovodi na DIO pin u testiranjima na nivou telegrama.

4. Ploča za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola. Na osnovu komandi poslatih preko PC aplikacije HyperTerminal generiše bifazne-M komande ka senzoru i prosleđuje odgovor od senzora ka PC.
5. Razvojna ploča koja sadrži Holov sensor, i koja je preko Emulator-a spojena sa razvojnom PC aplikacijom.
6. Emulator, koji se koristi za verifikaciju razvijene programske podrške, kao i za detektovanje i otklanjanje grešaka.
7. Spoljašnje kolo za prilagođavanje naponskih nivoa između generatora singala AWG510 i Holovog senzora.

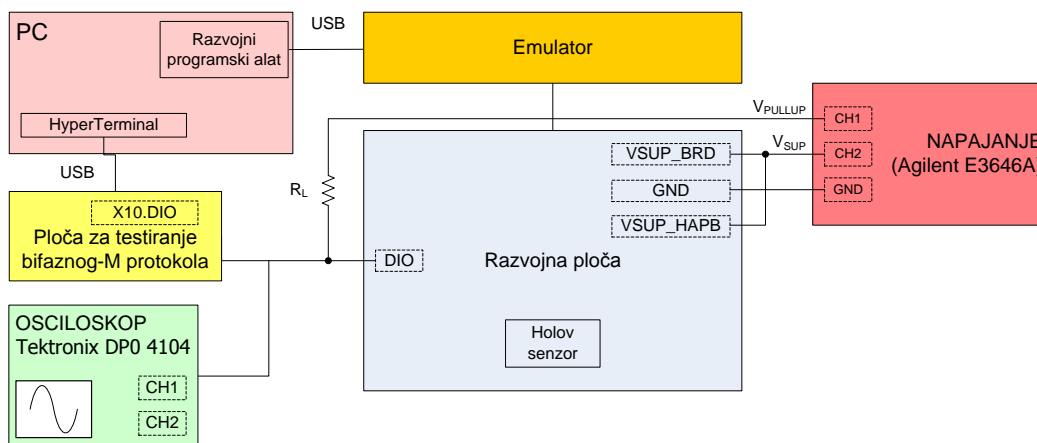
5.2.1 Konfiguracija programskih alata i verifikacione opreme

Za verifikaciju se koriste dve različite konfiguracije programskih alata i verifikacione opreme. Konfiguracija sa pločom za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola i HyperTerminal-om se koristi za testiranje komandi, dok se konfiguracija sa generatorom signala AWG510 i kolom za pojačavanje naponskih nivoa koristi za testiranje na nivou telegrama.

5.2.1.1 Konfiguracija 1 - Ploča za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola ploča i Hyper Terminal

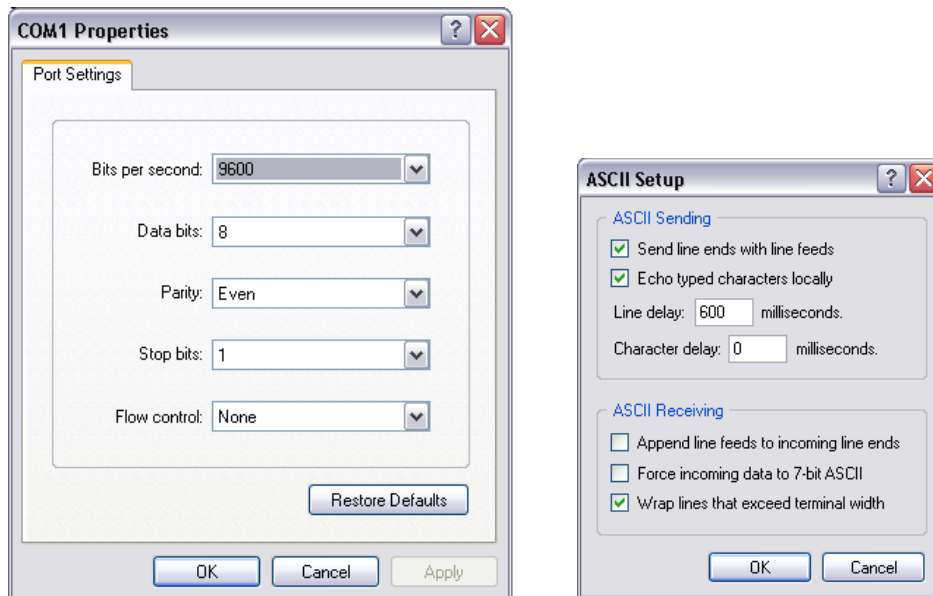
U ovom podpoglavlju je predstavljena konfiguracija alata za testiranje bifaznih komandi. Slika 20 prikazuje konfiguraciju alata koja koristi ploču za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola, programski alat HyperTerminal, napajanje Agilent E3646A, razvojna ploča, i Osciloskop Tektronix DP0 4104.

Hyper Terminal se koristi za slanje bifaznih komandi na Holov sensor preko ploče za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola. Korišćenjem opcije „Send Text File...“ u meniju „Transfer“, Hyper Terminal ima mogućnost da šalje sekvence komandi, što olakšava verifikaciju i zamenjuje pojedinačno unošenje svake komande.



Slika 20 - Konfiguracija alata za proveru bifaznih komandi

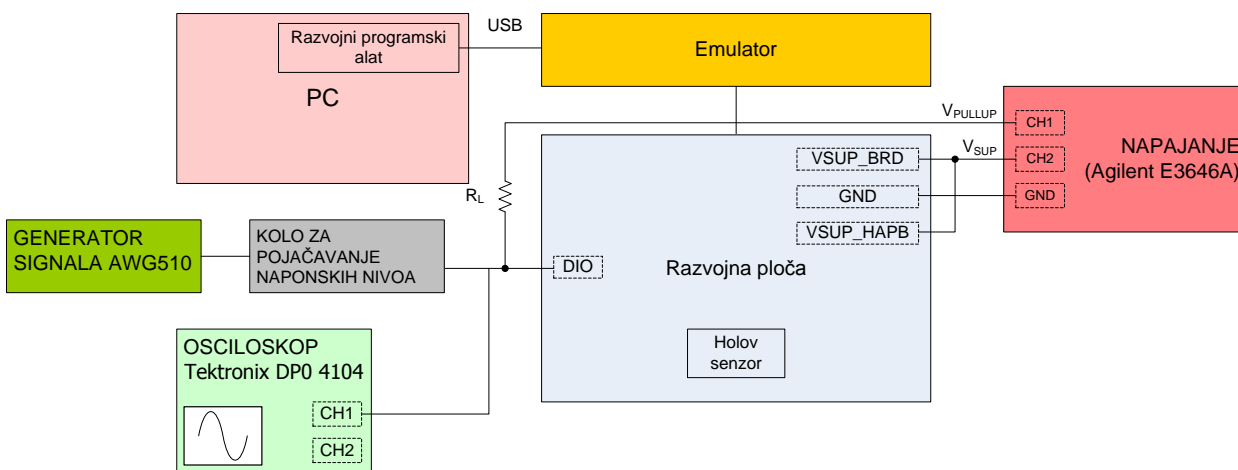
Slika 21 prikazuje osnovna podešavanja za Hyper Terminal. Razmak između slanja dve uzastopne linije komandi „Line delay“ mora biti postavljena na određenu vrednost zbog korišćenja opcije „Send Text File...“.



Slika 21 - Podešavanje Hyper Terminala

5.2.1.2 Konfiguracija 2 - Generator signala AWG510 i kolo za prilagođavanje naponskih nivoa

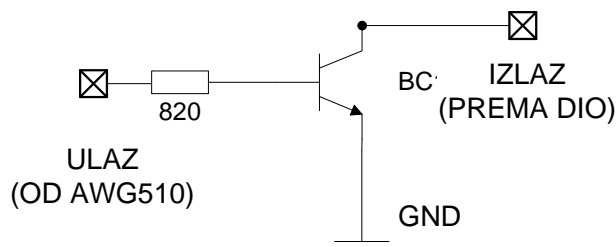
U ovom podpoglavlju je predstavljena konfiguracija alata za testiranje kalibracionog režima rada senzora na nivou telegrama. Slika 22 prikazuje konfiguraciju alata koja koristi generator signala AWG510, kolo za prilagođavanje naponskih nivoa, napajanje Agilent E3646A, razvojna ploča, i Osciloskop Tektronix DP0 4140.



Slika 22 - Konfiguracija alata za verifikaciju pomoću generatora signala AWG510

Generator signala AWG510, služi za generisanje signala koji se šalju na DIO pin Holovog senzora. Naponski nivo na izlazu generatora signala AWG510 je u opesgu od $\pm 1V$. U nameri da se naponski nivo generatora signala AWG510 prilagodi odgovarajućem naponskom nivou koji podržava Holov sensor, korišćeno je dodatno spoljašnje kolo za prilagođavanje naponskih nivooa. Slika 23 prikazuje shemu spoljašnjeg kola, a Slika 24 fizičku realizaciju.

DIO nožica Holovog senzora je spojena preko nožice IZLAZ sa spoljašnjim kolom za prilagođavanje naponskih nivooa.

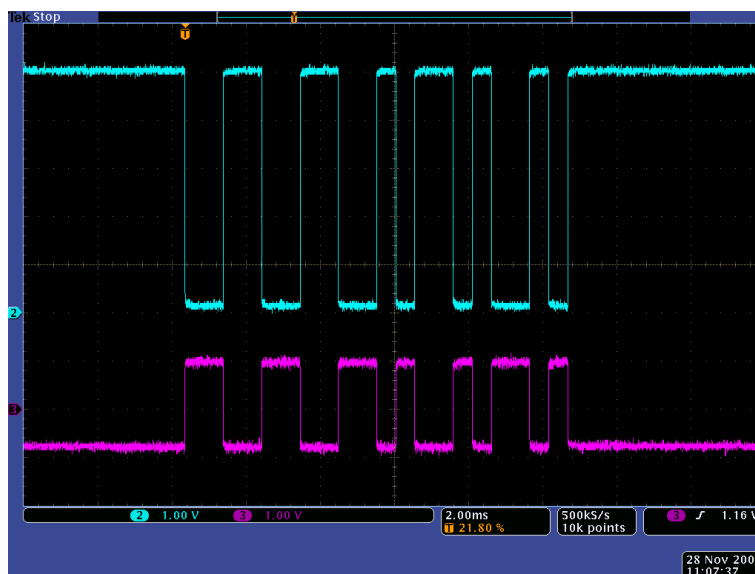


Slika 23 - Shematski prikaz spoljašnjeg kola za prilagođavanje naponskih nivooa



Slika 24 - Spoljašnje kolo za prilagođavanje naponskih nivooa

Slika 25 prikazuje izlaz iz kola za prilagođavanje naponskih nivooa. Ulaz kola je prikazan na kanalu 3, a izlaz iz kola na kanalu 2.



Slika 25 - Ulaz (CH3) i izlaz (CH2) iz kola za prilagođavanje naponskih nivooa

5.3 Testiranje komandi

Opis postupka testiranja, odnosno podešavanje testnih uređaja je isti za sve komande i opis postupka se navodi samo u prvoj komandi „čitanje sa apsolutnom adresom“. Konfiguraciju verifikacionih uređaja prikazuje Slika 20.

5.3.1 Komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“

Komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“ omogućuje čitanje sa nulte strane memorije odnosno samo prvih 32 bajta. Tabela 6 prikazuje rezultate testiranja.

Svrha testa:

Provera da li komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“ radi kako treba.

Opis postupka testiranja:

Pre početka testiranja povezati ploču za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola i Holov senzor preko DIO pina, povezati i GND. Nekoliko komandi „čitanje sa apsolutnom adresom“ sa različitim argumentima se šalju posredstvom ploče za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola na DIO pin senzora. DIO pin se posmatra pomoću osciloskopa i snimci telegrama se analiziraju. Analiza se vrši u svrhu kontrole 16 bita podataka telegrama za čitanje podataka poslatih od strane modula za bifazno slanje.

Hyper Terminal se koristi za slanje komandi između PC i ploče za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola. Komanda se šalje preko Hyper Terminala u formatu:

```
pxr0 absolute_address,
```

absolute_address je u formatu npr. 0x0000

Trenutna verzija programske podrške ploče za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola može da primi parameter *absolute_address* u opsegu od 0x00 do 0xFF i neće prijaviti nikakvu grešku, ali se samo za podatke pročitane u opsegu od 0x00 do 0x1F garantuje validnost podataka

Rezultati testiranja:

Komanda	Odgovor senzora	Rezultat testa
pxr0 0x0	Data Read = 666F7 hex	USPEŠAN
pxr0 0x1	Data Read = 1D662 hex	USPEŠAN
pxr0 0x2	Data Read = EF1D4 hex	USPEŠAN
pxr0 0x3	Data Read = D2EF5 hex	USPEŠAN
pxr0 0x4	Data Read = 3BD2F hex	USPEŠAN
pxr0 0x5	Data Read = 713B0 hex	USPEŠAN
pxr0 0x6	Data Read = 0071B hex	USPEŠAN
pxr0 0x7	Data Read = 44001 hex	USPEŠAN
pxr0 0x8	Data Read = 66443 hex	USPEŠAN
pxr0 0x9	Data Read = FF660 hex	USPEŠAN

pxr0 0xA	Data Read = FFFF3 hex	USPEŠAN
pxr0 0xB	Data Read = 7EFFF hex	USPEŠAN
pxr0 0xC	Data Read = 0D7EE hex	USPEŠAN
pxr0 0xD	Data Read = EA0D7 hex	USPEŠAN
pxr0 0xE	Data Read = 1AEA0 hex	USPEŠAN
pxr0 0xF	Data Read = 2C1A4 hex	USPEŠAN
pxr0 0x10	Data Read = 662C5 hex	USPEŠAN
pxr0 0x11	Data Read = 98667 hex	USPEŠAN
pxr0 0x12	Data Read = 4A984 hex	USPEŠAN
pxr0 0x13	Data Read = 764A0 hex	USPEŠAN
pxr0 0x14	Data Read = 7876D hex	USPEŠAN
pxr0 0x15	Data Read = AF78E hex	USPEŠAN
pxr0 0x16	Data Read = A9AFF hex	USPEŠAN
pxr0 0x17	Data Read = 1DA99 hex	USPEŠAN
pxr0 0x18	Data Read = 601DD hex	USPEŠAN
pxr0 0x19	Data Read = F160F hex	USPEŠAN
pxr0 0x1A	Data Read = 8AF1A hex	USPEŠAN
pxr0 0x1B	Data Read = 598A7 hex	USPEŠAN
pxr0 0x1C	Data Read = A4594 hex	USPEŠAN
pxr0 0x1D	Data Read = 04A41 hex	USPEŠAN
pxr0 0x1E	Data Read = 2C040 hex	USPEŠAN
pxr0 0x1F	Data Read = 912C3 hex	USPEŠAN

Tabela 6 - Verifikacioni rezultati komande „čitanje sa apsolutnom adresom“

5.3.2 Komanda „čitanje sa baznom adresom“

Čitanje sa baznom adresom je omogućeno samo ukoliko je posle reseta senzora promenjena bazna adresa sa inicijalne vrednosti (0xFFFF). Čitanje je omogućeno po celoj memoriji. Ukoliko je bazna adresa postavljena na vrednost 0xFFFF, čitanje će biti neuspešno i u statusnom registru SR će biti postavljen statusni bit SR.BA koji označava da bazna adresa nije postavljena. Tabela 7 prikazuje rezultate testiranja.

Svrha testa:

Provera da li komanda „čitanje sa baznom adresom“ radi kako treba i da li je moguće čitanje dok se ne bazna adresa ne promeni sa inicijalne vrednosti.

Opis postupka testiranja:

Postupak testiranja je isti kao u slučaju testiranja komande „čitanje sa apsolutnom adresom“ (5.3.1) osim, što bazna adresa mora biti postavljena da bi se postiglo uspešno čitanje. Komanda se šalje preko Hyper Terminala u formatu:

pxrb *absolute_address*,

absolute_address je u formatu npr. 0x0000

Rezultati testiranja:

Komanda	Odgovor senzora	Rezultat testa
pxrb 0x0	Acknowledge Error	USPEŠAN
pxsb 0x0000 0x0	Response OK	USPEŠAN
pxr0 0x7	Data Read = 4408A hex	USPEŠAN
pxrb 0x0	Data Read = 666F7 hex	USPEŠAN
pxrb 0x1	Data Read = 1D662 hex	USPEŠAN
pxrb 0x2	Data Read = EF1D4 hex	USPEŠAN
pxrb 0x3	Data Read = D2EF5 hex	USPEŠAN
pxrb 0x4	Data Read = 3BD2F hex	USPEŠAN
pxrb 0x5	Data Read = 713B0 hex	USPEŠAN
pxrb 0x6	Data Read = 0071B hex	USPEŠAN
pxrb 0x7	Data Read = 4408A hex	USPEŠAN
pxrb 0x8	Data Read = 66443 hex	USPEŠAN
pxrb 0x9	Data Read = FF660 hex	USPEŠAN
pxrb 0xA	Data Read = 00000 hex	USPEŠAN
pxrb 0xB	Data Read = 7EFFF hex	USPEŠAN
pxrb 0xC	Data Read = 0D7EE hex	USPEŠAN
pxrb 0xD	Data Read = EA0D7 hex	USPEŠAN
pxrb 0xE	Data Read = 1AEA0 hex	USPEŠAN
pxrb 0xF	Data Read = 2C1A4 hex	USPEŠAN
pxrb 0x10	Data Read = 662C5 hex	USPEŠAN
pxrb 0x11	Data Read = 98667 hex	USPEŠAN
pxrb 0x12	Data Read = 4A984 hex	USPEŠAN
pxrb 0x13	Data Read = 764A0 hex	USPEŠAN
pxrb 0x14	Data Read = 7876D hex	USPEŠAN
pxrb 0x15	Data Read = AF78E hex	USPEŠAN
pxrb 0x16	Data Read = A9AFF hex	USPEŠAN
pxrb 0x17	Data Read = 1DA99 hex	USPEŠAN
pxrb 0x18	Data Read = 601DD hex	USPEŠAN
pxrb 0x19	Data Read = F160F hex	USPEŠAN
pxrb 0x1A	Data Read = 8AF1A hex	USPEŠAN
pxrb 0x1B	Data Read = 598A7 hex	USPEŠAN
pxrb 0x1C	Data Read = A4594 hex	USPEŠAN
pxrb 0x1D	Data Read = 04A41 hex	USPEŠAN
pxrb 0x1E	Data Read = 2C040 hex	USPEŠAN
pxrb 0x1F	Data Read = 912C3 hex	USPEŠAN

Tabela 7 - Verifikacioni rezultati komande „čitanje sa baznom adresom“

5.3.3 Komanda „postavljanje bazne adrese“

Komanda „postavljanje bazne adrese“ kao argument može da ima bilo koju vrednost osim 0xFFFF. U ovom slučaju biće nemoguće koristiti komande „čitanje sa baznom adresom“, kao i komande za upis, i biće postavljen statusni bit greška bazne adrese SR.BA.

Svrha testa:

Provera da li komanda „postavljanje bazne adrese“ radi kako treba, da li se dobija signal potvrde od strane senzora.

Opis postupka testiranja:

Nakon svake komande „postavljanje bazne adrese“, proverava se registar *base_address* koji se nalazi na apsolutnoj adresi 0x0A, u svrhu provere da li se komanda izvršava kako treba.

Rezultati testiranja:

Komanda	Signal potvrde	Odgovor (16-bit)	Rezultat testa
pxsb 0x0000 0x0 pxr0 0xA	OK	0x0000	USPEŠAN
pxsb 0x000F 0x2 pxr0 0xA	OK	0x000F	USPEŠAN
pxsb 0x00AA 0x9 pxr0 0xA	OK	0x00AA	USPEŠAN
pxsb 0x0c42 0x9 pxr0 0xA	OK	0x0c42	USPEŠAN
pxsb 0x10FF 0x6 pxr0 0xA	OK	0x10FF	USPEŠAN
pxsb 0x1537 0x2 pxr0 0xA	OK	0x1537	USPEŠAN
pxsb 0x20BA 0x8 pxr0 0xA	OK	0x20Ba	USPEŠAN
pxsb 0x3000 0x6 pxr0 0xA	OK	0x3000	USPEŠAN
pxsb 0x3070 0xE pxr0 0xA	OK	0x3070	USPEŠAN
pxsb 0x3100 0x9 pxr0 0xA	OK	0x3100	USPEŠAN
pxsb 0x4000 0x8 pxr0 0xA	OK	0x4000	USPEŠAN
pxsb 0x5000 0xA pxr0 0xA	OK	0x5000	USPEŠAN
pxsb 0xF000 0xD pxr0 0xA	OK	0xF000	USPEŠAN
pxsb 0xFFFF0 0x1 pxr0 0xA	OK	0xFFFF0	USPEŠAN
pxsb 0xFFFF 0x3 pxr0 0xA	OK	0xFFFF	USPEŠAN

Tabela 8 - Verifikacioni rezultati komande „postavljanje bazne adrese“

5.3.4 Komanda „upis bajta sa baznom adresom“

Upis bajta po memorijskoj lokaciji je omogućen u opsegu adresa od 0x0070 do 0x0097. Ukoliko se pokuša upis van dozvoljenog opsega postavlja se statusni bit SR.WPE na „1“ u statusnom registru SR.

Svrha testa:

Provera da li komanda „upis bajta sa baznom adresom“ radi kako treba, da li se dobija signal potvrde od strane senzora, i da li su poslani podaci upisani u memoriju.

Opis postupka testiranja:

Nakon svake komande „upis bajta sa baznom adresom“, čitaju se podaci radi provere da li je komanda uspešno upisala poslate podatke u memoriju. Ukoliko signal potvrde nije poslat od strane senzora proverava se statusni registar SR i statusni bit SR.WPE radi provere da li je pristupano zabranjenom delu memorije. Ukoliko je statusni bit SR.WPE postavljen, znači da je pokušao upis van dozvoljenog opsega.

Rezultati testiranja:

Komanda	Odgovor senzora	Comentar	Rezultat testa
pxsb 0x0000 0x0	OK		USPEŠAN
pxwb 0x01 0x00 0x0	Acknowledge Error	upis van opsega	
pxr0 0x7	Data Read = 44406 hex	SR:WPE = 1	
pxwb 0x07 0x00 0x0	OK	brisanje SR	USPEŠAN
pxr0 0x7	Data Read = 44001 hex	obrisan SR	
pxsb 0x0068 0x6	OK		USPEŠAN
pxwb 0x07 0x00 0x0	Acknowledge Error	upis van opsega	
pxr0 0x7	Data Read = 44406 hex	SR:WPE = 1	
pxrb 0x8	Data Read = B3DB hex		
pxwb 0x08 0x00 0x0	OK	upis u opsegu	
pxrb 0x8	Data Read = B3007 hex		

Tabela 9 - Verifikacioni rezultati komande „upis bajta sa baznom adresom“

5.3.5 Komanda „upis reči sa baznom adresom“

Upis reči po memorijskoj lokaciji je omogućen u opsegu adresa od 0x0070 do 0x0097. Ukoliko se pokuša upis van dozvoljenog opsega postavlja se statusni bit SR.WPE na „1“ u statusnom registru SR. Na adresi 0x0098 se mogu upisati podaci kada se na adresi 0x0097 upisuju dva bajta komandom „upis reči sa baznom adresom“ i u ovom slučaju ne postavlja se statusni bit SR.WPE. Tabela 10 prikazuje rezultate testiranja.

Svrha testa:

Provera da li se slanjem komande „upis reči sa baznom adresom“ dobija signal potvrde od strane senzora, i da li su poslani podaci upisani u memoriju. Provera statusnog bita SR:WPE.

Opis postupka testiranja:

Nakon svake komande „upis reči sa baznom adresom“, čitaju se podaci radi provere da li je komanda uspešno upisala poslate podatke u memoriju. Ukoliko signal potvrde nije poslat od strane senzora proverava se statusni registar SR i statusni bit SR.WPE radi provere da li je

pristupano zabranjenom delu memorije. Ukoliko je statusni bit SR.WPE postavljen, znači da je pokušao upis van dozvoljenog opsega.

Rezultati testiranja:

Komanda	Odgovor senzora	Comentar	Rezultat testa
pxsb 0x0000 0x0	OK		USPEŠAN
pxww 0x01 0x0000 0x0	Acknowledge Error	upis van opsega	
pxr0 0x7	Data Read = 44406 hex	SR:WPE = 1	
pxwb 0x07 0x00 0x0	OK	brisanje SR	USPEŠAN
pxr0 0x7	Data Read = 44001 hex	obrisan SR	
pxsb 0x0068 0x6	OK		USPEŠAN
pxww 0x07 0x0000 0x0	Acknowledge Error	upis van opsega	
pxr0 0x7	Data Read = 44406 hex	SR:WPE = 1	
pxrb 0x8	Data Read = B3007 hex		
pxww 0x08 0x0000 0x0	OK	upis u opsegu	
pxrb 0x8	Data Read = 00000 hex		

Tabela 10 - Verifikacioni rezultati komande „upis reči sa baznom adresom“

5.4 Testiranje na nivou telegrama

Svrha testa je ispitivanje implementacije programske podrške kalibracionog režima rada Holovog senzora. Ispituju se minimalne i maksimalne vrednosti vremena bita koje mogu biti prepoznate od strane senzora kao validna informacija. Ispitivana je tolerancija senzora na različita vremena bita a kao mera uspešnosti testa je korištena specifikacija proizvođača senzora. Od svih komandi koje podržava Holov sensor samo je testirana komanda „čitanje sa apsolutnom adresom“ (pxr0 0xa).

U ovim testovima će biti ispitana funkcionalnost Holovog senzora pomoću ispravnih bifaznih telegrama. Telegrami će se slati na DIO pin Holovog senzora putem generatora signala AWG510, posredstvom kola za pojačavanje naponskih nivoa. Konfiguraciju verifikacionih uređaja prikazuje Slika 22. Tabela 11 prikazuje rezultate testiranja.

5.4.1 Testiranje vremena bita (tbbit)

Svrha testa:

Svrha ovog testa je da ispita funkcionalnost kalibracionog režima rada senzora u slučaju nepreciznosti vodećeg uređaja koji šalje telegrame.

Opis postupka testiranja:

Slika 22 prikazuje konfiguraciju uređaja neophodnih za testiranje vremena bita. Vreme bita u telegramu poslatog od strane vodećeg uređaja treba da varira i da se prati odgovor od strane Holovog senzora. Telegrami sa različitim vremenima bita se šalju na DIO pin pomoću generatora signala AWG510.

Vreme bita (tbbit) je mereno pomoću opcije osciloskopa da meri širinu pulsa („Positive pulse with“) između dva kursora (Gating-Between Cursors). Na generatoru signala je menjana širina bita radi traženja minimalne i maksimalne vrednosti na kojima sensor šalje signal potvrde.

Rezultati testiranja:

Podešavanja		Merenja		Rezultati testiranja
Vsup	Vpullup	tbbit (vodećeg uređaja)		
		min	max	
[V]	[V]	[µs]	[µs]	
4.5	5.0	695.9	1224	USPEŠAN
5.0	5.0	695.3	1224	USPEŠAN
5.5	5.0	695.4	1224	USPEŠAN

Tabela 11 - Rezultati tbbit testiranja

5.4.2 Testiranje vremena polovine bita (thbh)

Svrha testa:

Svrha ovog testa je da ispita funkcionalnost kalibracionog režima rada senzora u slučaju nepreciznosti vodećeg uređaja koji šalje telegrame u slučaju kada thbh nije na 50% od vremena bita.

Opis postupka testiranja:

Postupak testiranja je isti kao u prethodnom testu. Takođe se traže minimalna i maksimalna vrednost širine bita, stim što se šalju telegrami sa različitim thbh. Tabela 12 prikazuje rezultate testiranja.

Rezultati testiranja:

Podešavanja		Merenja	
Vpullup	thbh	tbbit (vodeći uređaj)	
		min	max
[V]	[tbbit]	[µs]	[µs]
4.5	0.40	768.1	1028
	0.45	700.1	1104
	0.50	695.3	1224
	0.56	704	1092
	0.60	759	1030
5.0	0.40	768.6	1028
	0.45	701.1	1104
	0.50	694.9	1224
	0.56	703.2	1092
	0.60	760	1030
5.5	0.40	768.3	1028
	0.45	700.7	1104
	0.50	696.4	1224
	0.56	704.3	1091
	0.60	759.6	1029

Tabela 12 - Rezultati thbh testiranja

5.5 Odgovor senzora na bazi Holovog efekta na telegrame sa greškama

Svrha testa:

Svrha ovog testa jeste da proveriti kako sensor reaguje kada mu na ulaz stižu telegrami sa greškom. Takođe se proverava statusni registar DS i njegov sadržaj nakon primljenog telegrama.

Podешavanje opreme:

Parametar	Vrednost	Objašnjenje
Vpullup	5.0 V	pull-up napon Holovg senzora
Vsup	5.0 V	napajanje Holovog senzora

Opis postupka testiranja:

Ovaj test se sastoji iz tri koraka koja se ponavljaju za svaku komandu koja se testira istim redosledom:

1. Statusni registar DS se postavlja na „0“ korišćenjem ploče za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola i tekstualne skripte Hyper Terminala. Nakon resetovanja DS, potrebno je otkaçiti DIO pin sa ploče za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola.
2. DIO pin se spaja sa izlazom iz generatora signala AWG510. Bifazne poruke koje sadrže greške se šalju ka Holovom senzoru. Generator signala šalje poruke koje sadrže greške u telegramu, odnosno telegram sa pogrešnim bitom parnosti, CRC greškom, greškom u startnom bitu, i slanje nepostojaće komande. Za svaku od nabrojanih telegrama sa greškom izvode se ova tri koraka.
3. DIO pin se ponovo spaja sa pločom za testiranje bifaznog-M komunikacionog protokola upotrebom Hyper Terminala se proverava statusni DS registar.

Tabela 13 prikazuje rezultate testiranja senzora na telegrame sa greškom.

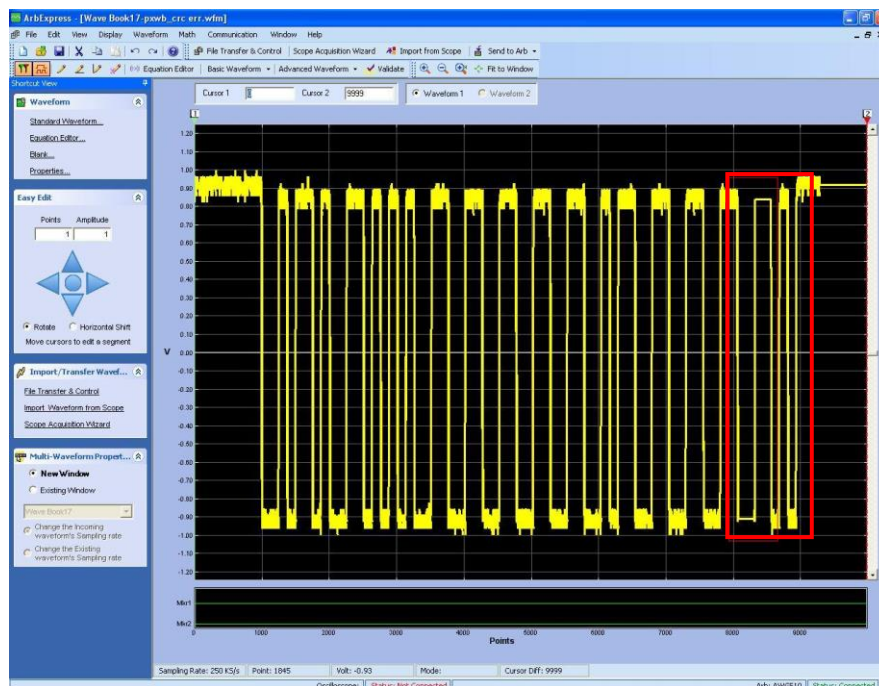
Rezultati testiranja:

Telegram	Slika telegrama	DS registar		Promenjeni statusni bitovi	Rezultat testiranja
		pre	posle		
CRC greška	Slika 26	0x00	0x10	CRCE - greška CRC	USPEŠAN
greška parnosti	Slika 27	0x00	0x04	PE - greška parnosti	USPEŠAN
	Slika 28	0x00	0x24	PE - greška parnosti, CE - greška komande	USPEŠAN
greška startnog bita	Slika 29	0x00	0x22	SBE - greška startnog bita CE - greška komande	USPEŠAN
nepoznata komanda ID2	Slika 30	0x00	0x20	CE - greška komande	USPEŠAN
nepoznata komanda ID4	Slika 31	0x00	0x20	CE - greška komande	USPEŠAN
nepoznata komanda ID7	Slika 32	0x00	0x20	CE - greška komande	USPEŠAN
greška na prvom bitu	Slika 33	0x00	0x21	CE - greška komande, BTE - greška bita	USPEŠAN
greška na četvrtom bitu	Slika 34	0x00	0x21	CE - greška komande, BTE - greška bita	USPEŠAN
greška na trećem bitu	Slika 35	0x00	0x21	CE - greška komande, BTE - greška bita	USPEŠAN

Tabela 13 - Rezultati testiranja senzora na telegrama sa greškom

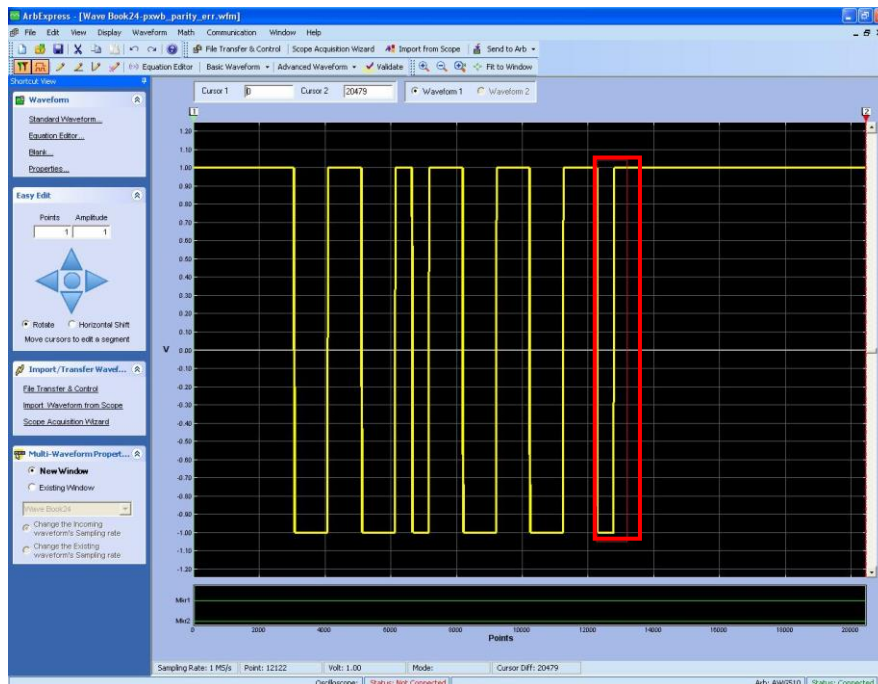
5.5.1 Korišćeni telegrami

Alat ArbExpress je korišćen za generisanje telegrama sa greškama. Slika 26 prikazuje telegram sa CRC greškom. Promenjen je treći bit od 4 CRC bita i zato nastaje greška.



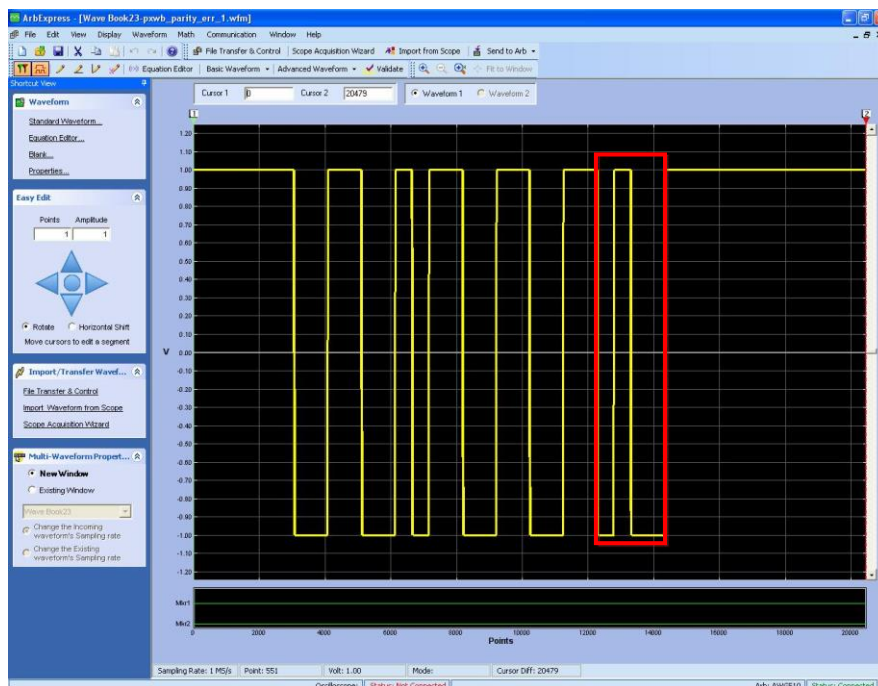
Slika 26 - CRC greška

Slika 27 i Slika 28 prikazuju telegrame sa greškom parnosti. Za prvi test, parnost je promenjena sa „0“ na „1“ što predstavlja grešku, zato što imamo samo jednu „1“ (Slika 27).



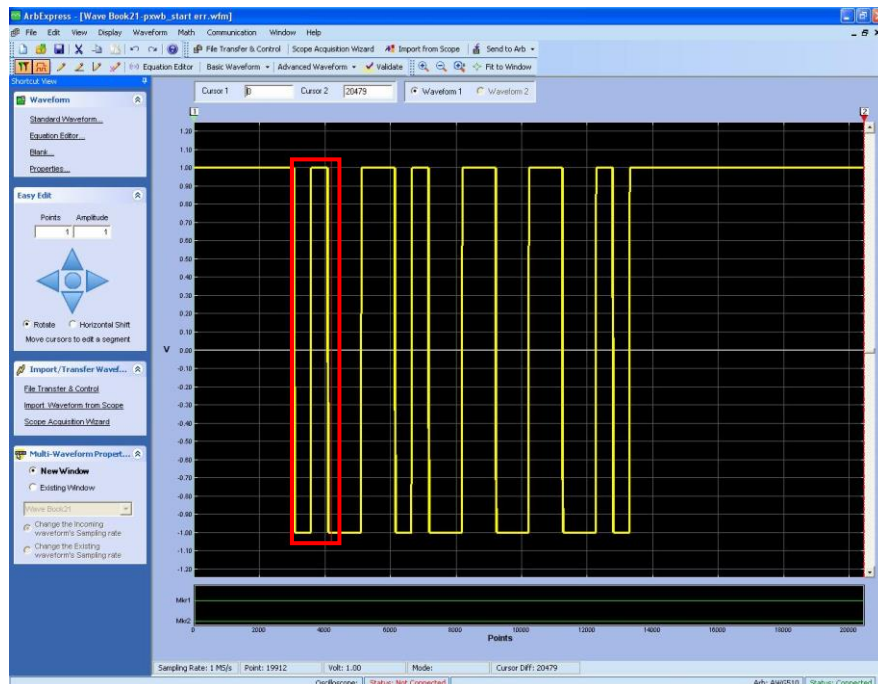
Slika 27 - Greška bita parnosti (test 1)

Takođe za drugi test greške za na pitu parnosti, parnost je promenjena sa „1“ na „0“, što je pogrešno zato što postoje dve „1“ u telegramu (Slika 28).



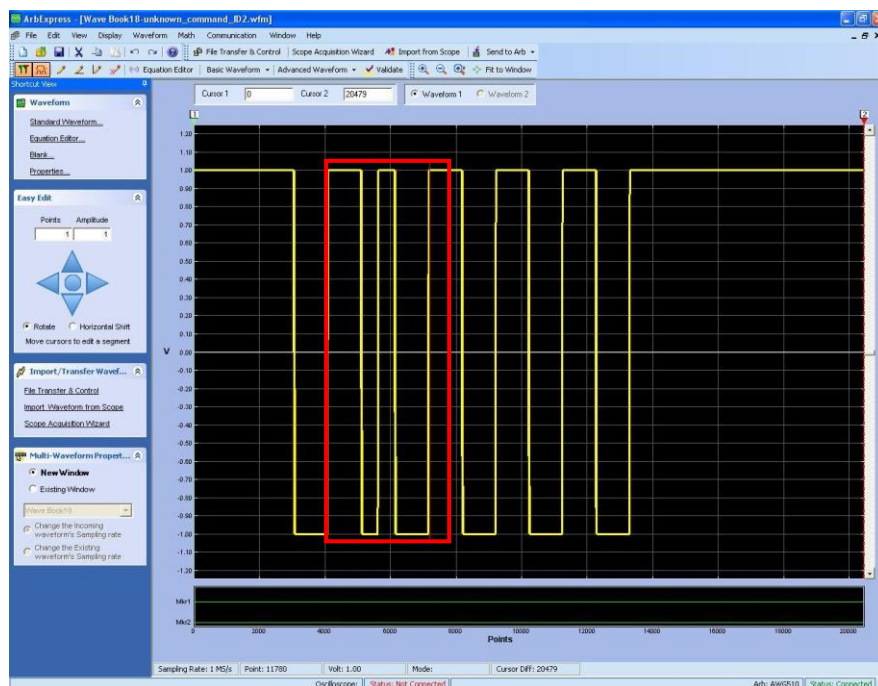
Slika 28 - Greška bita parnosti (test 2)

Slika 29 prikazuje telegram sa greškom na starnom bitu. Po specifikaciji startni bit treba da bude „0“ a u svrhu testa je promenjen na „1“ i zato nastaje greška.



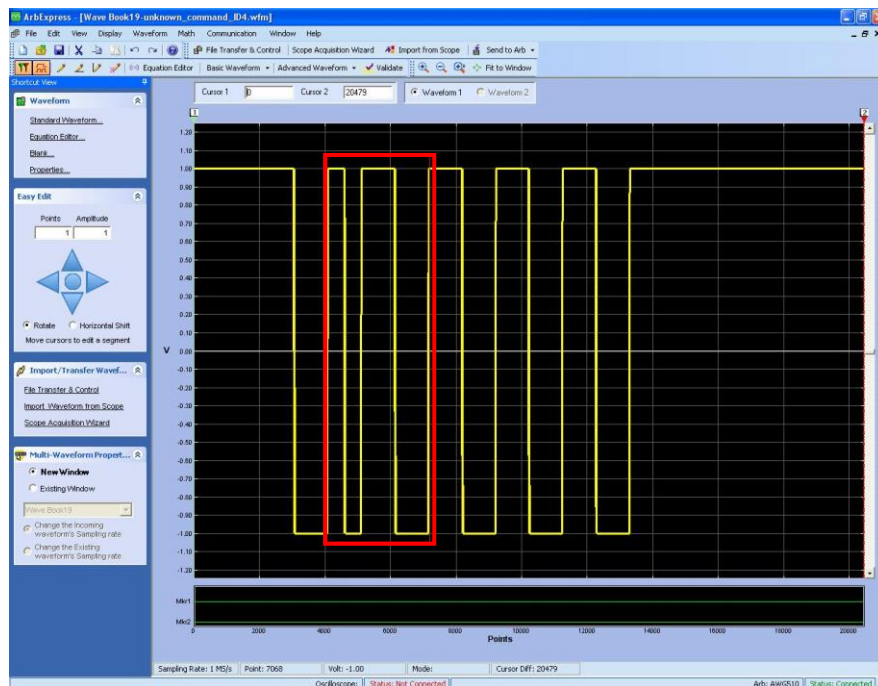
Slika 29 - Greška starnog bita

Slika 30 prikazuje telegram sa greškom nepoznate komande. Identifikacioni broj komande je 2, odnosno komanda koja nije podržana je poslata na DIO pin, što rezultuje greškom nepoznate komande.



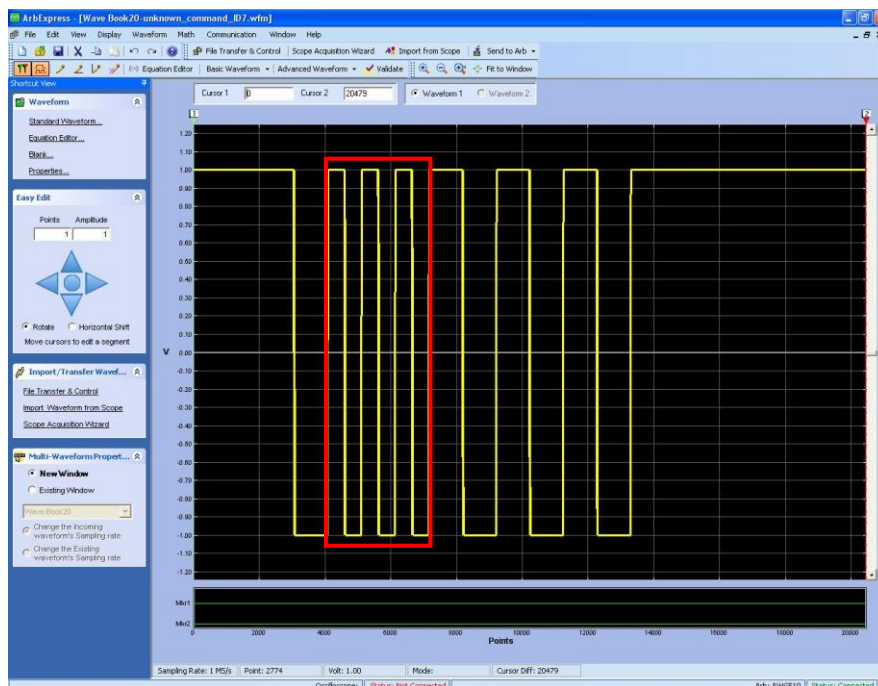
Slika 30 - Nepoznata komanda ID2

Slika 31 prikazuje telegram sa greškom nepoznate komande. Identifikacioni broj komande je 4, odnosno komanda nije podržana, što rezultuje greškom nepoznate komande.



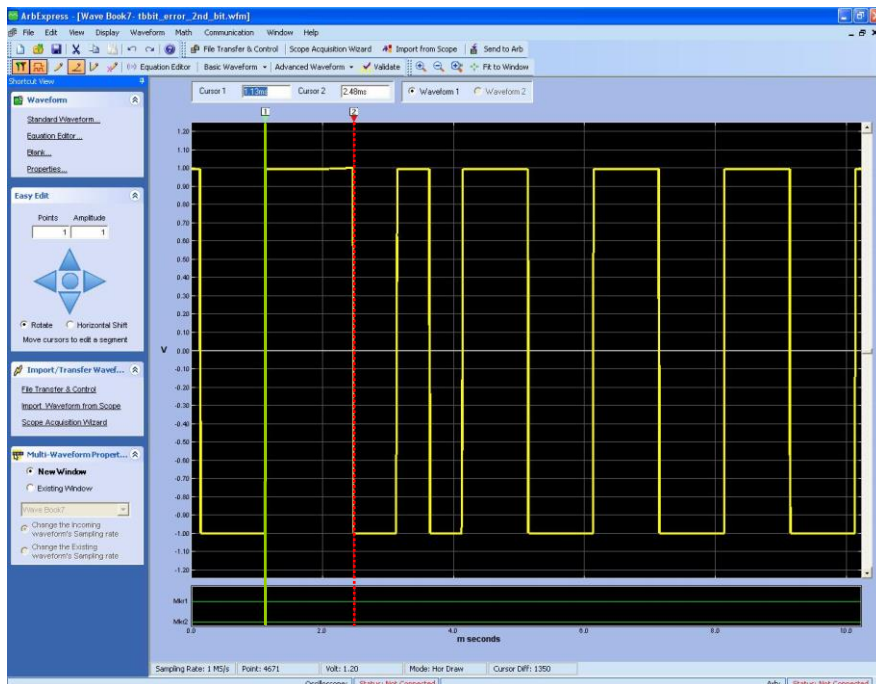
Slika 31 - Nepoznata komanda ID4

Slika 32 prikazuje telegram sa greškom nepoznate komande. Identifikacioni broj komande je 7, odnosno komanda nije podržana, što rezultuje greškom nepoznate komande



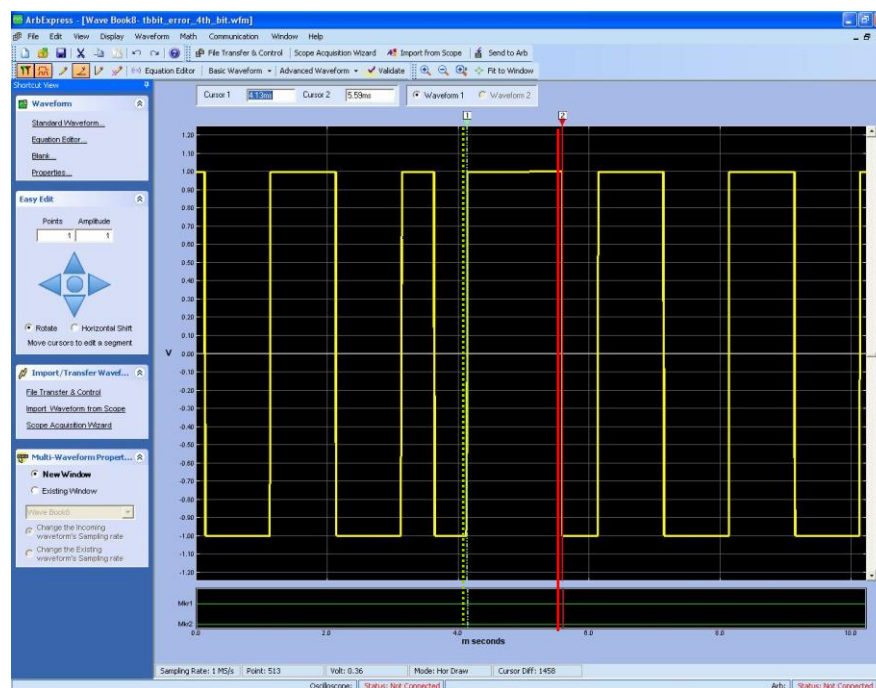
Slika 32 - Nepoznata komanda ID7

Slika 33 prikazuje telegram sa greškom na prvom bitu, drugi bit je širi nego što je specificirano što uslovljava pojavu greške.



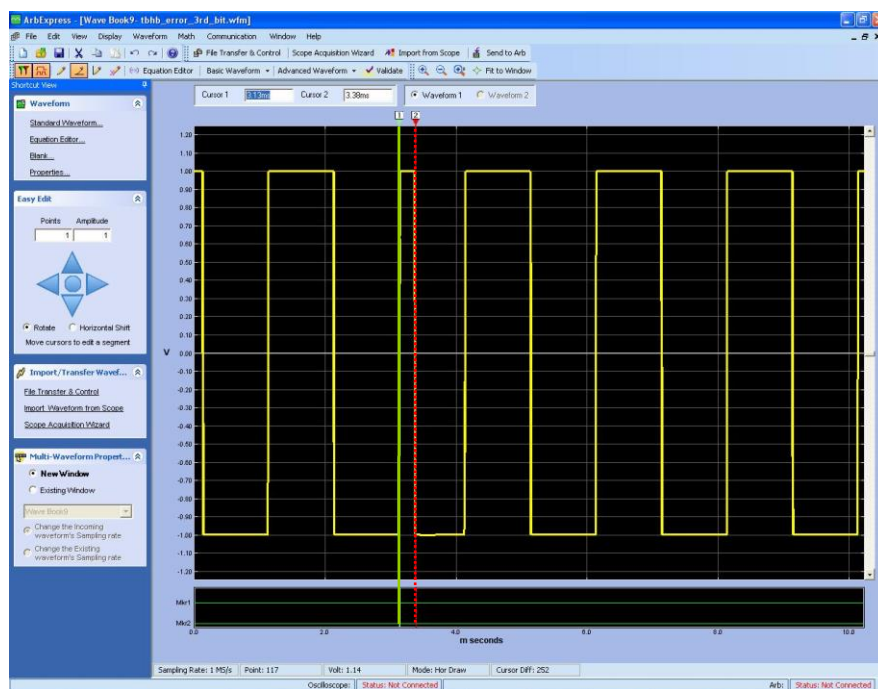
Slika 33 - Greška na prvom bitu

Slika 34 prikazuje telegram sa greškom četvrtom bitu. Širina bita je šira nego što je definisano i zato nastaje greška



Slika 34 - Greška na četvrtom bitu

Slika 35 prikazuje telegram sa greškom na polovini trećeg bita. Polovina bita nije dovoljno široka i zato nastaje greška.



Slika 35 - Greška na trećem bitu

Zaključak testiranja:

Svi testovi su uspešno prošli. Senzor reaguje dobro, ne šalje odgovor odnosno signal potvrde kada primi telegram sa greškom i postavlja odgovarajuće statusne bite u odnosu na vrstu greške.

6. Zaključak

Diplomski rad predstavlja jedno rešenje programske podrške za kalibracioni režim rada senzora na bazi Holovog efekta. Implementacija obuhvata kalibracioni režim rada senzora u kojem je omogućena dvosmerna komunikacija između senzora i električnog kontrolnog uređaja. Komunikacija se vrši u skladu sa bifaznim-M komunikacionim protokolom.

Testiranje kalibracionog režima rada je vršeno u skladu sa specifikacijom bifaznog-M komunikacionog protokola i testiranjem je utvrđeno da programska podrška uspešno podržava bifazne komande koje omogućuju čitanje i upis po memoriji.

Implementirana programska podrška predstavlja dobru osnovu za dalje proširenje i razvoj kalibracionog režima rada.

7. Literatura

- [1] SAE International, Surface Vehicle Information Report
- [2] Agilent, E3640A – E3649A, Programmable DC Power Supplies, Data Sheet
- [3] Tektronix, TDS3000B Series, Digital Phosphor Oscilloscopes 071-0957-04, User manual
- [4] Wikipedia, besplatna enciklopedija (www.wikipedia.org), Holov efekat
- [5] Authors David Eyes i Ron Lichty, Programming the 65816, Including the 6502, 65C02 and 65802, The Western Design Center, Inc., 1992