

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

PRIMJENA MIKROPROCESORA U MEHATRONICI

Rijeka, ožujak 2015

Teo Miljuš
0069050911

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

PRIMJENA MIKROPROCESORA U MEHATRONICI

Mentor: doc. dr. sc. Saša Sladić

Rijeka, ožujak 2015

Teo Miljuš
0069050911

TEHNIČKI FAKULET

Povjerenstvo za završne ispite
preddiplomskog stručnog studija elektrotehnike
Br.: 602-04/15-14/19
Rijeka, 06.03.2015.

ZADATAK

za završni rad

Pristupnik: Teo Miljuš

Matični broj: 0069050911

Lokalni matični broj: 10800006

Naziv zadatka:

PRIMJENA MIKROKONTROLERA U MEHATRONICI

Naziv zadatka na
engleskom jeziku:

MICROCONTROLLER APPLICATIONS IN MECHATRONICS

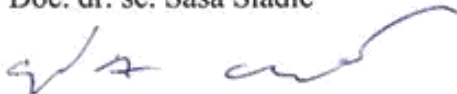
Sadržaj zadatka:

Opišite pristup upotrebi suvremenih mikrokontrolera u mehatroničkim sustavima. Studiju upotrijebite generiranjem različitih PWM (eng. *Pulse Width Modulation*) signala na sustavu STM32F4-Discovery kit te opišite mogućnosti njegove primjene.

Zadano: 17.03.2015.

Mentor:

Doc. dr. sc. Saša Sladić



Predsjednica Povjerenstva:



Izv. prof. dr. sc. Vera Gradišnik

Zadatak preuzeo dana: 17.03.2015.



(potpis pristupnika)

Dostaviti:

- Predsjednica Povjerenstva
- Mentor
- Djelovoda Povjerenstva
- Evidencija studija
- Pristupnik
- Arhiva Zavoda

Izjava

Sukladno s člankom 9. PRAVILNIKA o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, od lipnja 2011., izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku BR: 602-04/15-14/19, Rijeka, 17.03.2015.

Rijeka, rujan 2015

Teo Miljuš

0069050911

Zahvala

Zahvaljujem svojem mentoru, doc. dr. sc. Saši Sladiću na ukazanom povjerenju i pruženoj pomoći tijekom izrade završnog rada.

Od srca zahvaljujem svojoj obitelji i djevojci na pruženoj potpori tijekom studija.

1.UVOD.....	1
1.1.MIKROKONTROLERI.....	2
1.1.1.MIKROPROCESORI.....	2
1.1.2.MIKROKONTROLERI.....	4
1.2. MEHATRONIKA.....	5
1.2.1.OPĆENITO O MEHATRONICI.....	5
1.2.2.POTREBA ZA MIKROKONTROLERIMA U MEHATRONICI.....	6
2.PWM UPRAVLJANJE ELEKTRIČNIM STROJEM.....	7
2.1.PWM MODULACIJA.....	9
2.1.1.THDI VALNI OBLICI KOD UNIPOLARNOG AUTONOMNOG IZMJENJIVAČA.....	10
2.2.ARHITEKTURE MIKROKONTROLERA.....	14
2.2.1.IZBOR ARHITEKTURE.....	15
2.2.2.PREDNOSTI ARHITEKTURA.....	18
2.3.MIKROPROCESORSKI SUSTAV STM32F4.....	19
2.3.1.MODULACIJA PWM SIGNALA STM32F4 SUSTAVOM.....	21
2.3.2.UPOTREBA STM32F4 MIKROPROCESORSKOG SUSTAVA.....	22
3.ZAKLJUČAK.....	25
4.LITERATURA.....	26
5.POJMOVI.....	28
6.SAŽETAK.....	29

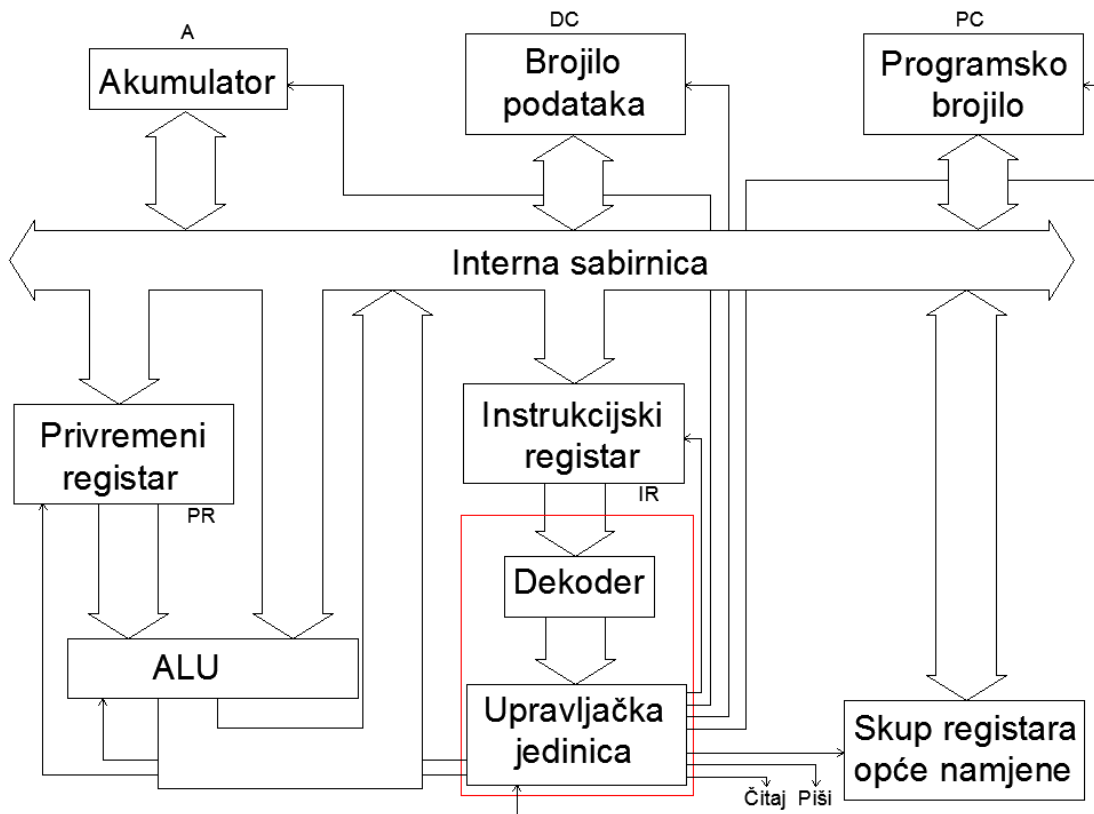
1.UVOD

Tehnologija se pojavljuje u svim segmentima života, od posla do zdravlja, od elektroničkih uređaja za zabavu u krugu obitelji do kućanskih aparata. U svakodnevnoj upotrebi su perilice rublja i posuđa, koriste se računala, pećnice, televizori, posjećuju se kina, odlazi se na posao, prolazi se kraj semafora i svjetlećih reklama, a rijetko kad se pomisli na koji način funkcioniraju ti uređaji. Većinu tih uređaja upravljaju mikrokontroleri koji su tema ovog rada. Mikrokontroleri su složenije komponente od mikroprocesora jer osim njega oni sadržavaju i periferiju bez koje mikrokontroler nije prilagođen za određenu funkciju. Ova tema je opširna i dotiče se različitih problema jer se u jednom današnjem automobilu nalazi 30-ak mikrokontrolera, a kada se još spomenu hibridni automobili, vlakovi, brodovi, pokretne trake itd., vidi se da je ova tema neiscrpna pa je prednost dana PWM (eng. *pulse-width modulation*) upravljanju kao tipičnoj primjeni vezanoj za elektroničke pretvarače. PWM modulaciju moguće je istraživati pomoću gotovih razvojnih sustava kao što je STM32F4 mikrokontrolerski sustav koji se koristi u razvojne svrhe i koji je pristupačan cijenom, a ima i velike mogućnosti upotrebe. Taj sustav sadrži STM 32 Cortex-M4 procesor s periferijom te je kompatibilan i s drugim mikroprocesorima iz serije Cortex-M procesora tako da se ista periferija može koristiti i s mikroprocesorima slabijih performansi ako nisu potrebni bolji modeli za tu namjenu. Na tržištu postoji cijeli niz procesora, a danas najveći dio tržišta pokriva ARM (eng. *Advanced RISC Machine*). Prema članku R. Gabelića iz dnevnog tiska Aljazeera: „*Takozvanu ARM arhitekturu danas koristi preko 90 posto mobilnih uređaja, a od nedavno ARM procesori uspješno se ugrađuju i u prijenosna računala*“ [1]. Na njihovoj arhitekturi se zasnivaju i drugi elektronički uređaji, a najviše oni kod kojih je važna energetska učinkovitost. Uz veliku konkurenciju na tržištu sklopovska oprema vrlo brzo napreduje, a za to je potrebna programska podrška gdje se tvrtke zajedno udružuju kako bi ubrzali razvoj tih programa. Prikazati će se koje su razlike između 8, 16 i 32-bitnih arhitektura mikrokontrolera, i koje su njihove prednosti, a koje su razlike u kodovima i arhitekturi. Mikrokontrolerski sustav STM32F4 također podržava i generiranje PWM signala koji se programski jednostavno generiraju pozivanjem unaprijed napisanih knjižnica s naredbama za određeni program. PWM se koristi kod upravljanja elektromotorima i svodi se na to da se motor napaja kratkotrajnim impulsima jednake amplitude, a brzina vrtnje elektromotora ovisi o dužini trajanja impulsa (istosmjerni, kolektorski strojevi).

1.1. Mikrokontroleri

1.1.1. Mikroprocesori

Glavni dio mikrokontrolera je mikroprocesor, stoga je potrebno razumjeti kako on funkcionira. Dakle, mikroprocesor je multifunkcionalni uređaj koji pribavlja digitalne podatke na ulaz, obrađuje ih prema instrukcijama iz memorije i daje rezultate na izlazu. Mikroprocesor djeluje s brojevima u binarnom sustavu. Koristi se binarni sustav jer su dovoljna samo dva stanja 0 i 1, što predstavlja niski i visoki napon. Pomoću ta dva stanja se mogu provoditi aritmetičke i logičke operacije. Na Slici 1.1. je prikazan pojednostavljeni model mikroprocesora pomoću kojega se može razumjeti što se događa u mikroprocesoru [2].



Slika 1.1. Pojednostavljeni model mikroprocesora [2]

Kako je vidljivo na slici mikroprocesor se sastoji od:

-akumulatora (A) – to je registar u kojem se nalazi jedan od operanda ili se u njega može pohraniti rezultat obrade. U akumulator se može pohraniti operand koji se traži u memoriji radi bržeg pristupa, nakon što ALU (eng. *arithmetic logic unit*) izvrši instrukciju može pohraniti rezultat u akumulator, upravo zato je dobio naziv akumulator jer akumulira podatke (rezultate ili operande).

-brojila podataka (DC) – to je također registar koji sadrži adresu jednog od operanda koji se dovode na ulaz ALU, kada upravljačka jedinica dekodira instrukciju koja traži da se dovede operand iz memorije, tada adresa iz programskog brojila ide na sabirnicu te dolazi u adresni među registar gdje se pronalazi operand na toj adresnoj lokaciji, operand se prebacuje u među registar u memoriji te preko sabirnice dolazi u akumulator ili registar opće namjene

-programskog brojila (PC registar) – također registar u kojemu se nalazi adresa sljedeće instrukcije koja će se obaviti, upravljačka jedinica automatski povećava programsko brojilo za 1 u toku jednog instrukcijskog ciklusa, zato što je program slijed instrukcija koje se moraju izvoditi jedna iza druge

-privremenog registra (PR) – služi za privremeno pamćenje operanda, a programer ne može utjecati na njegov rad.

-instrukcijskog registra (IR) – preuzima iz memorije operacijski kod instrukcije, to je dio instrukcije koji govori koja se instrukcija želi izvršiti

-skup registara opće namjene – služi za pohranu međurezultata, to je najbrža memorija, nema čekanja zbog vremena pristupa. Ubrzava rad mikroprocesora, a pogodan je za varijable koje se često pozivaju iz memorije. Nedostatak je ograničen broj registara.

-aritmetičko-logičke jedinice (ALU) – obavlja sve logičke i aritmetičke operacije.

-interna sabirnica – povezuje sve elemente unutar mikroprocesora. Organizacija ove sabirnice značajno utječe na protok podataka unutar mikroprocesora. Neki mikroprocesori imaju dvije ili čak tri interne sabirnice.

-upravljačkog sklopa – upravljačka jedinica uz pomoć dekodera prepoznaje strojne instrukcije, te u skladu s tim upravljački sklop generira potrebne signale za obavljanje željene instrukcije.

Mikroprocesor izvršava instrukcije koje dobije s podacima iz memorije, znači na svakoj adresi koju procesor preuzme iz memorije se nalaze i instrukcije što treba napraviti s podacima te nakon što obavi radnju za koju je prethodno dobio instrukciju zapisuje taj podatak u memoriju [2].

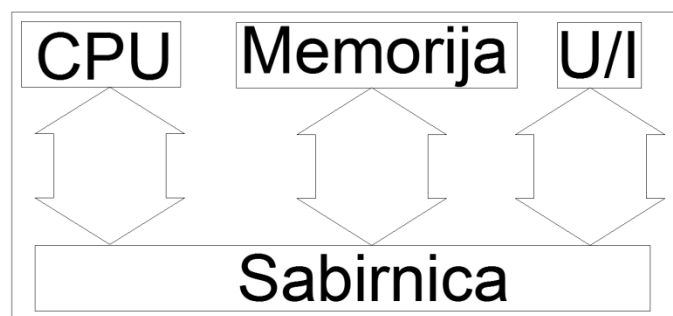
1.1.2.Mikrokontroleri

Mikrokontroler je malo računalo jer on osim mikroprocesora uključuje i periferne dijelove koji su prikazani na slici 1.2.

- CPU (eng. *Central processing unit*) (mikroprocesor)
- ROM memoriju (eng. *Read-only memory*) Memorija za čitanje
- RAM memoriju (eng. *Random Access Memory*) Memorija nasumičnog pristupa
- digitalne ulaze i izlaze

Mikrokontroleri su uglavnom projektirani za specifične zadaće, ali upotreba im je raznolika, iz tog razloga je teško definirati što će biti standardni ulaz i izlaz mikrokontroleru. Koriste se svugdje, kod jednostavne regulacije osvjetljenja, kod alarmnih sustava, kod upravljanja robotima u industrijskim sustavima, hibridnim automobilima, kalkulatorima itd... Izlazi mikrokontrolera mogu biti analogni i digitalni. Može ih se iskoristiti za radnje kad ih se poveže s elektromehaničkim sklopovima, kao što je promjena položaja nekog predmeta, povećanje brzine vrtnje motora i slično. Analogni izlaz može se iskoristiti povezivanjem s lampicom koja može upozoriti na neku promjenu ili neispravnost. Ako se pak želi pratiti promjena nekih veličina bilo analognim ili digitalnim prikazom tada će trebati složeniji izlaz. S obzirom da su mikrokontroleri napravljeni da bi zamijenili ljude u dijelu kontrole proizvodnog procesa ili gotovo cijelog proizvodnog procesa moglo bi se reći da je mikrokontroler isključivo vezan za komunikaciju s strojem, ali ulaz i izlaz iz mikrokontrolera nisu baš isključivo vezani za komunikaciju s strojem pa stoga mikrokontroler često ima neki vid komunikacije s čovjekom kao što su lampice ili digitalni zaslon. Ipak, najčešće se koristi kao osobno računalo za komunikaciju s čovjekom.

Na Slici 1.2. je prikazan tipičan mikrokontroler s različitim sklopovima koji su integrirani u jedan mikrokontrolerski čip [3].



Slika 1.2.Mikrokontroler [3]

Mikroprocesor (CPU) čini osnovu strukture mikrokontrolera. ROM memorija služi za smještaj programa, a RAM memorija za smještaj podataka. Mikrokontroler je povezan s okolinom pomoću ulazno/izlaznih portova. Više različitih mikrokontrolera s različitom periferijom, pakiranjima, opcijama po pitanju radne brzine itd. naziva se razredom mikrokontrolera [3].

1.2. Mehatronika

1.2.1. Općenito o mehatronici

Razvojem strojarstva, elektronike i računarstva nastala je potreba da se te različite discipline povežu u jednu koja će ih obuhvatiti sve zajedno i ta kombinacija disciplina se naziva mehatronika. Spajanjem engleske riječi **Mechanical** i **Electronic** nastala je riječ „Mechatronic“ a iz toga je izvedena hrvatska riječ mehatronika. Taj pojam je prvi put upotrijebljen od japanske tvrtke „Yaskawa Electric Corporation“. Danas se pojam mehatronika koristi svugdje u svijetu. U današnje vrijeme nije dovoljno znati izvoditi mehaničarske radove, sa sve većim uvođenjem elektronike potrebno je poznavati obje discipline stoga su se i mnoga zanimanja i radna mjesta reformirala iz mehaničara u mehatroničara. Glavni cilj mehatronike je postizanje boljih funkcionalnosti tehničkih proizvoda i sustava spajanjem svih komponenti u jednu [4].

Kako bi se postiglo najbolje moguće rješenje povezuje se mikroelektronika i informatika s mehaničkim sustavima a to je ključni faktor u filozofiji mehatronike.

Mehatronika nije nova disciplina, već je to novonastali pristup gdje se ujedinjuju i među djeluju različita područja tehnike.

Pojam „meha“ se odnosi na dinamički proces tipa: pneumatski, hidraulički, električni ili ručno upravljani, dok se pojam „tronika“ odnosi na kontrolni proces koji sadrži: signalizaciju, upravljanje, regulaciju i vizualizaciju koje komuniciraju međusobno preko mrežne tehnologije pomoću računalne informacije.

U budućnosti mehatroničari će morati svojim radom prelaziti granice sastavnih disciplina kako bi postigli optimalno rješenje za određeni problem [4].

Mehatronika obuhvaća široko područje, a upotrebljava se kod:

- alata, strojeva, robota, proizvodnih i montažnih linija
- uredske tehnike, uređaja za zabavu, kućanskih strojeva
- motora, vozila, vojne industrije
- medicinske opreme, senzora, instrumenata

1.2.2. Potreba za mikrokontrolerima u mehatronici

Mehatronika uključuje grane strojarstva, elektrotehnike, elektronike, pneumatike i hidraulike te računalstva i programiranja, na taj se način integriraju znanja i vještine koje su se do sada obavljali stručnjaci u pojedinim granama. Stoga mehatronika obuhvaća područja automatizacije. Tu se uvode mikrokontroleri koji se programiraju da upravljaju dijelom procesa ili cijelim procesom. U mehatronici je potrebno ostvariti sklop fizički, ali je potrebno taj sklop i programirati pomoću mikrokontrolera koji se programira pomoću osobnog računala. Upotreba mikrokontrolera je raznolika, oni se koriste kod jednostavnijih stvari poput digitalnog sata ili upravljanja fotonaponskom elektranom, slika 1.3. [5].



Slika 1.3. Fotonaponska elektrana Riteh-1 (Fotografirao autor)

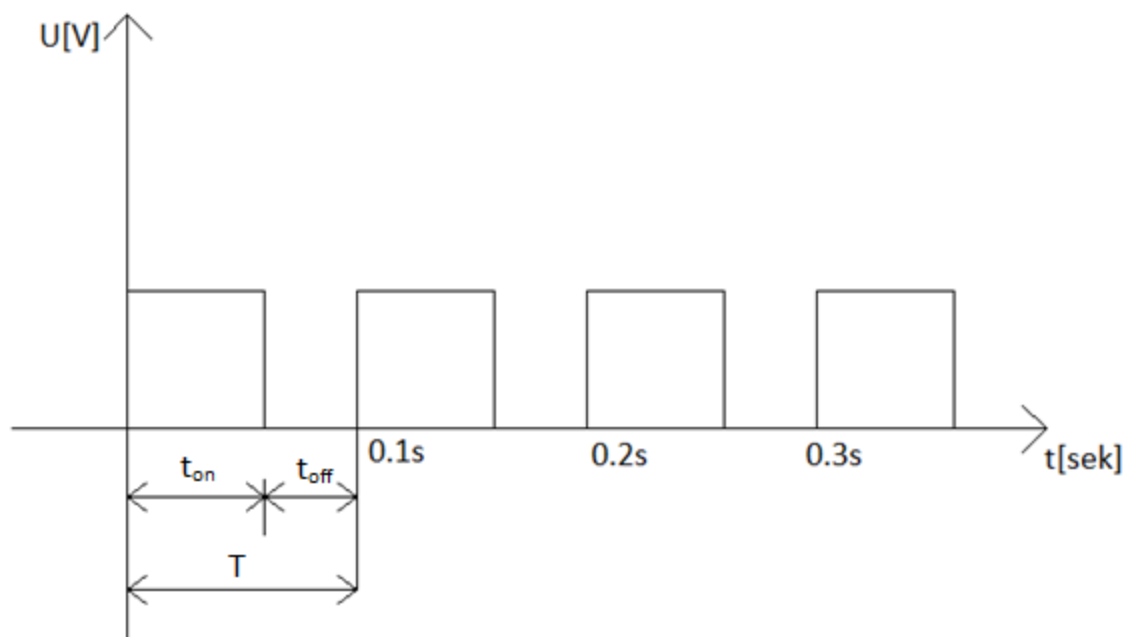
$P_{\max} = 3.5 \text{ kW}$

Dimenzije solarnog modula: 5x5m

Elektrana prikazana na Slici 1.3. koristi dvoosno praćenje, moduli su napravljeni od polikristaličnog silicija, ugrađen je jednofazni pretvarač snage, te priključak na mrežu (1f, 230V, 50Hz)

2.PWM UPRAVLJANJE ELEKTRIČNIM STROJEM

PWM ili širinsko impulsna modulacija je raširena kod upravljanja električnim strojevima. Način djelovanja PWM-a se svodi na to da se motor napaja kratkotrajnim impulsima s jednakom amplitudom linijskog napona, pri tome brzina vrtnje električnog stroja ovisi o dužini trajanja impulsa. Prednost kod PWM upravljanja je da se tijekom vremena isključenja ne troši energija jer struja u tim trenucima ne teče. S ovom metodom može se precizno upravljati električnim strojem zato jer se današnjim alatima može namjestiti vrijeme isključenja i uključivanja na precizne vrijednosti. Isto tako frekvencija uključivanja i isključivanja impulsa mora biti dovoljno velika da ne bi utjecala na uređaj kojim se upravlja. Pomoću PWM-a može se postići da niz diskretnih impulsa poprimi oblik analognog signala. Znači s određivanjem trajanja i frekvencijom impulsa može se simulirati potrebne signale i upravo to se i koristi za upravljanje elektromotorom. Kako bi se predočilo što se događa s signalom dan je grafički prikaz tog signala na Slici 2.1.[7].



Slika 2.1. Signal kod PWM upravljanja [7]

T_{on} predstavlja vrijeme dok električni stroj ima amplitudu impulsa, amplituda je svaki put ista jer je logička jedinica uvijek na istom naponu, a upravo to i je potrebno kako bi se moglo regulirati brzinom električnog stroja. PWM modulacija je metoda kontroliranja analogne varijable koristeći pravokutni digitalni signal. Period je cijelo vrijeme konstantan, a promjenjiva je širina impulsa. Radni ciklus je proporcionalan vremenu dok je vrijednost impulsa na visokoj vrijednosti i izražava se u postocima. Bez obzira na dužinu radnog ciklusa, uvijek postoji srednja vrijednost impulsa. Ako je vrijeme visoke vrijednosti malo, mala je i srednja vrijednost, ako je vrijeme visoke vrijednosti veće onda je i srednja vrijednost veća. Kontrolom radnog ciklusa kontrolira se i srednja vrijednost. Srednja vrijednost PWM-a se može izvući sa niskopropusnim filterom. Ako se izaberu odgovarajuće vrijednosti otpora i kapaciteta izlaz će imati analogni signal. U praksi nije uvijek potrebna ovakva vrsta filtriranja, zato jer mnogi realni sustavi imaju odziv karakteristike koji se često ponašaju kao niskopropusni filter (primjerice izmjenični električni strojevi) [7].

Primjena PWM-a:

Uređaji koji se koriste u robotici:

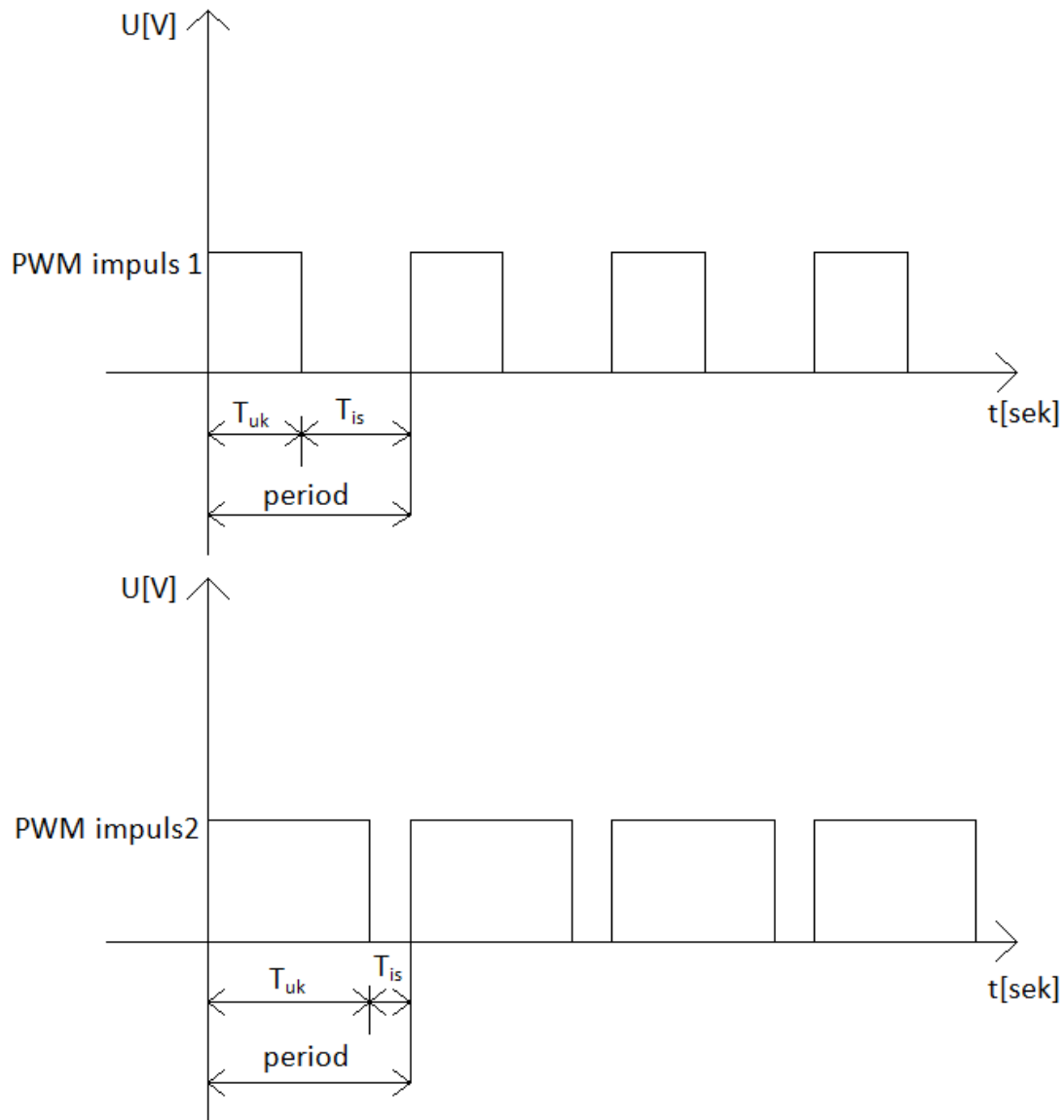
- istosmjerni motori
- servo uređaji
- sustavi zatvorene kontrole petlje (npr. učinski pretvarači)
- komunikacijski sustavi pulsno kodne modulacije

Uključene prednosti:

- kontrola mikroprocesora
- djelotvorno korištenje snage
- tolerancija na analogni šum
- neosjetljivost na drift

2.1.PWM modulacija

Na Slici 2.2. su prikazana dva PWM impulsa kako bi se mogla vidjeti razlika između njih, a to su PWM impuls 1 i PWM impuls 2.



Slika 2.2. Dva PWM impulsa [7]

Na Slici 2.2. su prikazana dva PWM signala s jednakom frekvencijom, tj. imaju period jednakog trajanja što je i vidljivo na slici. Ako se uspoređuju ta dva signala kada se izračuna srednja vrijednost prvog signala i uspoređi je se sa srednjom vrijednosti drugog signala unutar jedne periode vidljivo je da prvi signal ima manju srednju vrijednost.

Ovdje je grafički vidljivo što se događa kod PWM regulacije pa je jasno kako se određuje brzina električnog stroja bez da se mijenja trajanje periode, tj. utjecanjem na vrijeme trajanja napajanja električnog stroja promjenom amplitude unutar jedne periode regulira se brzina vrtnje električnog stroja (u najjednostavnijem slučaju istosmjernog stroja). Kada bi se uspoređivao signal u bilo kojem trenutku srednja vrijednost amplitude unutar perioda za određenu brzinu vrtnje električnog stroja mora biti jednaka bilo kojem drugom trenutku osim ako se ne mijenja brzina vrtnje a time se i direktno utječe na srednju amplitudu unutar perioda.

2.1.1. THD i valni oblici kod unipolarnog autonomnog izmjenjivača

THD-faktor harmoničkog izobličenja (eng. *total harmonic distortion*) nekog signala je zapravo mjera trenutno prisutnog izobličenja a definira se kao omjer zbroja svih snaga svih harmoničkih komponenti i snage temeljne frekvencije. U elektroenergetskim sustavima smanjenje THD-a znači i smanjenje vršnih struja, grijanja i gubitaka u jezgri motora.

Zaključak je da smanjenje THD-a donosi uštedu pa se stoga koriste i ove metode smanjivanja THD-a:

- Metoda uklanjanja harmonika
- Metoda poništavanja harmonika
- Metoda premještanja harmonika (PWM, metoda širinsko-impulsne modulacije)

Posljednja metoda se tiče PWM-a stoga je detaljnije objašnjena.

Ukoliko je amplituda istosmjernog napona V_{dc} tada se zna da je i amplituda svakog impulsa jednaka V_{dc} . Iz tog podatka jednostavno se može izračunati efektivna vrijednost V_{arms}^2 niza PWM impulsa koristeći sljedeću relaciju:

$$V_{arms}^2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{dc}^2 \sin^2 \omega_a t d(\omega_a t) = \frac{2V_{dc}^2}{\pi} \quad (2.1)$$

gdje je:

V_{arms}^2 efektivna vrijednost napona niza impulsa

V_{dc} amplituda istosmjernog napona

Iduća potrebna relacija je za efektivnu vrijednost $V_{acrms} = \frac{V_{dc}}{\sqrt{2}}$, a iz te dvije relacije može se izračunati faktor THD prema sljedećoj relaciji:

$$\text{THD} = \sqrt{\frac{V_{arms}^2 - V_{acrms}^2}{V_{acrms}^2}} \quad (2.2)$$

gdje je:

V_{acrms} efektivna vrijednost napona

THD faktor harmoničkog izobličenja

Kada se uspoređi ova vrijednost faktora THD sa vrijednosti pravokutnog valnog oblika vidi se da je napon koji se dobije širinsko-impulsnom modulacijom u osnovi više izobličen pa se je stoga potrebno zapitati zašto ga uopće koristiti. Odgovor je taj da harmoničke komponente PWM valnog oblika imaju veću frekvenciju od pravokutnog valnog oblika. Tijekom studija na ovom fakultetu održane su vježbe iz predmeta energetska elektronika, na tim vježbama projekiran je zadatak u kojem se morao prikazati autonomni izmjenjivač s unipolarnom modulacijom, a to je dobar primjer za prikazati djelovanje PWM-a [8].

Frekvencija koja se označava m_f predstavlja frekvencijski indeks modulacije.

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \frac{\text{frekvencija signala nositelja}}{\text{frekvencija upravljačkog signala}} \quad (2.3)$$

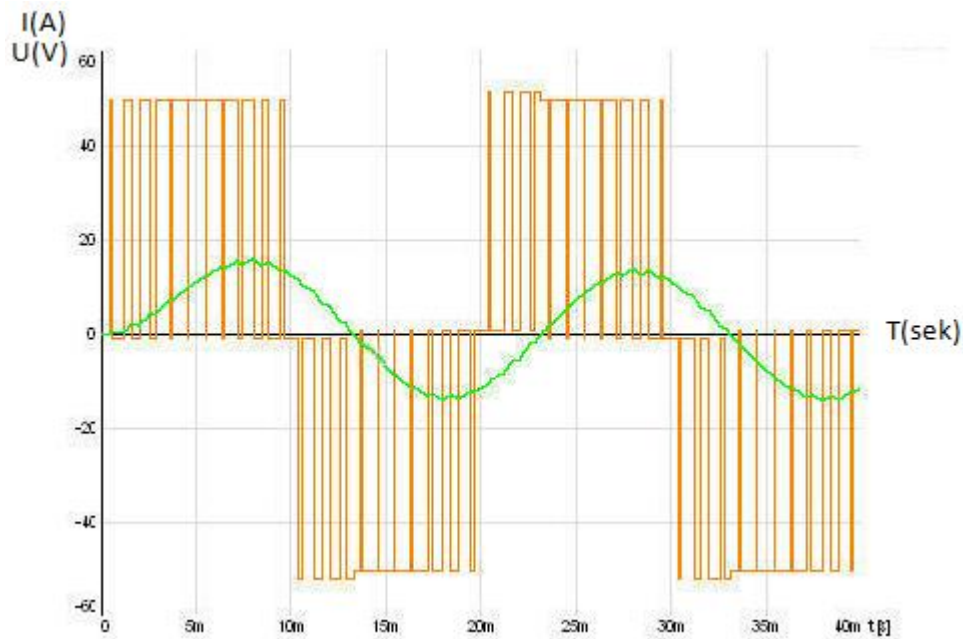
gdje je:

f_s frekvencija signala nositelja

f_1 frekvencija upravljačkog signala

m_f frekvencijski indeks modulacije

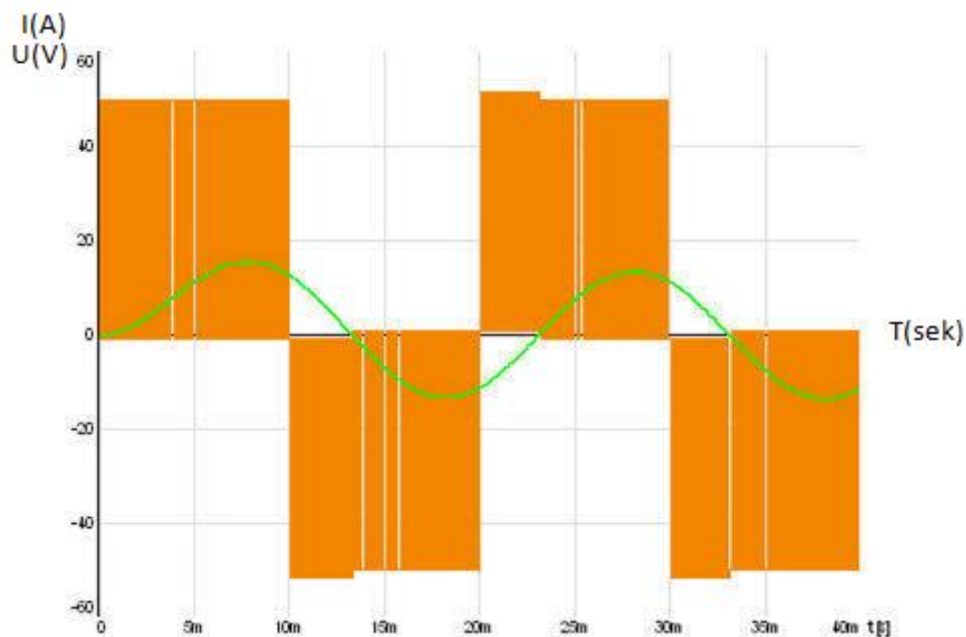
Na Slici 2.4. je prikazan valni oblik napona i struje trošila kada je $m_f = 11$



Slika 2.4. Simulirani valni oblik napona jednofaznog mosnog izmjenjivača
(2A/d.s., 20V/d.s., 5ms/d.s. $f_s = 550\text{Hz}$)

Na ovoj slici su prikazani simulacijski rezultati od 0 do 40 ms. Kao što se vidi valni oblik struje je sinusan, a vrijednost induktiveta je iznosila 10 mH. U ovom slučaju je sklopna frekvencija iznosila 550Hz ($f_r \cdot m_f$).

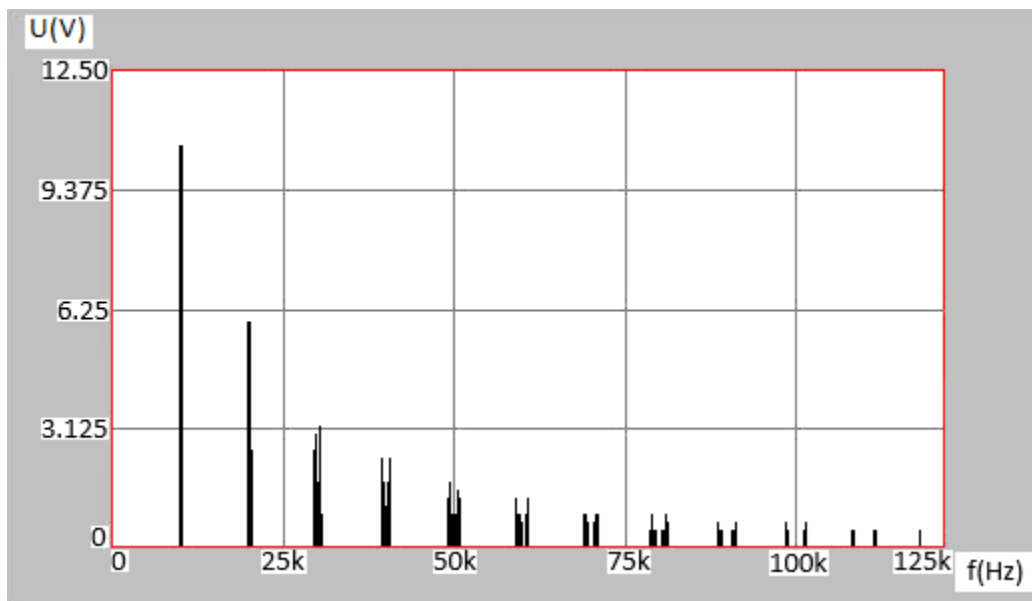
Na Slici 2.5. je prikazan valni oblik napona i struje trošila kada je $m_f = 100$.



Slika 2.5. Simulirani valni oblik napona jednofaznog mosnog izmjenjivača
(2A/d.s., 20V/d.s., 5ms/d.s. $f_s = 5\text{kHz}$)

Na ovoj slici su također prikazani rezultati od 0 do 40 ms. Valni oblik je opet sinusan i vrijednost induktiviteta je ostala 10 mH. U ovom slučaju se promijenila i sklopna frekvencija iz razloga što je povećan frekvencijski indeks modulacije te u ovom slučaju sklopna frekvencija iznosi 5kHz. Sada je struja trošila bliže sinusnom valnom obliku pa se je i smanjio THD faktor struje trošila što se i htjelo postići, a to se sada i vidi iz valnih oblika.

Na Slici 2.6. prikazan je Fourierov spektar napona na trošilu za slučaj kada je frekvencijski indeks modulacije iznosio $m_f = 100$.



Slika 2.6. Fourierov spektar napona na trošilu
(3.125V/d.s., 25Hz/d.s.)

Na ovoj slici je prikazan Fourierov spektar valnog oblika napona trošila za frekvenciju 5kHz. Na frekvenciji upravljačkog signala ($f_r = 50\text{Hz}$) se nalazi frekvencija osnovne harmoničke komponente. Više harmoničke komponente se nalaze na frekvenciji koja je dvostrukog iznosa $2m_f$ i na višim frekvencijama ($4m_f, 6m_f, \dots$).

Osnovne vrste PWM metoda su:

- Bipolarna modulacija širine impulsa
- Unipolarna modulacija širine impulsa
- Unipolarna modulacija širine impulsa – nesimetrična izvedba

Glavna razlika između bipolarne i unipolarne modulacije širine impulsa je ta da se kod bipolarne modulacije parovi tranzistora upravljaju zajedno, dok se kod unipolarne modulacije parovi tranzistora upravljaju odvojeno.

Znači metoda kod koje se premještaju harmoničke komponente na dovoljno visoke frekvencije da bi ih se kasnije moglo filtrirati s fizički manjim LC komponentama se naziva širinsko-impulsna modulacija (PWM).

Prednost kod ove metode je da ako se trošilo napaja preko jednostavnog induktivnog filtera, za postizanje željenog faktora THD valnog oblika struje vrijednost tog induktiviteta je mnogo manja kod pretvarača s PWM valnim oblikom izlaznog napona nego kod pretvarača s pravokutnim valnim oblikom izlaznog napona.

2.2.Arhitekture mikrokontrolera

Mikrokontrolere se može podijeliti prema arhitekturama, ovdje su prikazane 3 arhitekture koje su podržane od tvrtke Keil (proizvodi programsku opremu) , a njihov program μ Vision ih podržava.

Opisana verzija njihovog programa podržava 8, 16 i 32 bitne mikrokontrolere, a primjeri su dani u nastavku.

Za 8-bitne mikrokontrolere je uzet za primjer 8051. To je mikrokontroler koji proizvodi tvrtka Intel. Taj uređaj sadržava sustav koji je projektiran za vrhunske performanse u stvarnom vremenu i koristi se u više od 65% svih 8-bitnih aplikacija. Dostupno je više od 1000 varijanti s periferijom koja uključuje: analogne U/I, brojače, PWM, serijska sučelja kao UART, I²C, LIN, SPI, USB, CAN itd. Ta arhitektura ima proširenja koja osiguravaju do 16MB memorije s 16/32 bitnim instrukcijama. μ Vision podržava suvremene trendove kao što je dizajn čipa baziran na IP (eng. *intellectual property*) jezgrama.

Za 16-bitne mikrokontrolere opisani su C166, XE166, XC2000 koje proizvodi tvrtka Infineon u suradnji s STM-om. Dodatno su pojačani za optimalne performanse u stvarnom vremenu i periferija im je usko povezana s jezgrom mikroprocesora unutar čipa. Koriste kontroler događaja (eng. Peripheral Event Controller) kao periferiju koji služi za prikupljanje podataka velikom brzinom i to bez ili s malo mikrokontrolerskog upravljanja. Pokazuju se kao najbolji izbor za aplikacije koje zahtijevaju jako brze odzive na vanjske događaje [10].

Za 32-bitne mikrokontrolere uzeti su ARM7 i ARM9 mikrokontroleri projektirani od tvrtke ARM, ali isto tako je uzet i ARM-ov Cortex-Mx. ARM7 i ARM9 podržavaju kompleksne

aplikacije što zahtijeva veću snagu procesora. Unutar 4GB adresnog prostora omogućavaju se velike brzine upotrebom jezgri s 32-bitnom aritmetikom. Radi postizanja veće gustoće koda RISC (eng. *reduced instruction set computer*) skup instrukcija je proširen s Thumb skupom instrukcija. Radi postizanja brzih promjena sadržaja ARM7 i ARM9 mikrokontroleri koriste odvojene stogove, a to omogućava djelotvorne paralelne (eng. *multitasking*) operativne sustave. Ne podržavaju adresiranje bitova i nemaju prostor za određene periferne adrese. Dostupni su samo zahtjevi prekida i brzi zahtjevi prekida.

Cortex-Mx mikrokontroleri kombiniraju prednosti troškova 8-bitnih i 16-bitnih mikrokontrolera s fleksibilnošću i performansama 32-bitnih mikrokontrolera s niskom potrošnjom snage. Koriste Thumb2 napredni skup instrukcija, te podržavaju adresiranje bitova i pružaju veći broj prekida s najmanje 8 prioriteta razina [10].

2.2.1. Izbor arhitekture

Izbor optimalnog mikrokontrolera za određene aplikacije je složen zadatak. Ovdje su navedene prednosti i istaknutije značajke pojedinih kontrolera kako bi se prikazalo koja arhitektura mikrokontrolera najbolje odgovara zahtjevima pojedine aplikacije.

Klasični i Prošireni 8051 mikrokontroleri

8051 mikrokontroleri kombiniraju manje troškove sklopovlja s jednostavnim ali djelotvornim programom koji koristi razne memorije da bi se povećala djelotvornost koda i ubrzao pristup memoriji. 8051 arhitektura pruža tri različite fizičke memorije.

DATA/IDATA memorija uključuje 256 Bitova RAM-a na čipu s registrima i adresnim prostorom koji se koristi za brzi promjenjivi pristup. Neki kontroleri pružaju i prošireni prostor do 64 KB. Memorija koda sadrži 64KB ROM prostora kojeg koristi za programski kod. Kod podrške dopušta da se proširi fizička memorija, a u tim varijantama omogućeno je do 16MB ROMa. XDATA ima 64KB RAM memorije za periferiju izvan čipa i za adresiranje memorije. Danas većina kontrolera pruža neku RAM memoriju koja se nalazi u XDATAi. SFR i IDATA memorija se nalazi u istom adresnom prostoru, ali se pristupa kroz druge instrukcije assemblera. Za proširene kontrolere, raspored memorije pruža univerzalnu memorijsku mapu koja uključuje sve tipove 8051 memorije u jednoj 16MB-tnoj regiji adrese [10].

8051 istaknutije značajke

Koristi brze prekide (eng. *interrupt*) servisa s dvije ili četiri razine prioriteta, te adresni prostor za djelotvorne logičke operacije. Ima 128 bitova prostora za usku integraciju periferije na čipu, mala je potrošnja snage, a moguće su velike brzine djelovanja.

8051 podrška razvojnih alata

Funkcije prekida se pišu u C jeziku, koristi bitove i adresne varijable za Booleovu podršku podataka, kompajliranje podataka koristi direktan pristup memoriji i daje veliku brzinu koda u odnosu na programiranje u assembleru. Koristi funkciju više prekida, a smjernice memorije pružaju fleksibilan pristup memoriji. Kod proširuje fizički prostor memorije, a apsolutno lociranje varijabli omogućuje pristup periferiji i dijeljenje memorije.

Infineon C166, XE166, XC2000

16 bitna arhitektura ovih uređaja je dizajnirana za veliku brzinu aplikacija u realnom vremenu. Pruža 16MB memorijskog prostora s područjima brze memorije u adresnom prostoru. Aplikacije visokih performansi imaju pogodnost lociranja često korištenih varijabli u područjima brze memorije.

C166, XE166, XC2000 istaknutije značajke

Imaju velike brzine prekida s 16 razina prioriteta, te adresne bitove za djelotvorne logičke operacije. Koriste kontroler periferije za automatske transfere podataka do memorije izazvane prekidima periferije. Ne zahtijevaju interakciju procesora i poboljšavaju odziv vremena prekida. Jedinica akumuliranja pruža visoke brzine DSP (eng. *digital signal processing*) algoritama.

C166, XE166, XC2000 podrška razvojnih alata

Imaju podršku za memorijski tip i fleksibilni digitalni uzorak s brzim pristupom varijablama, te ugrađeni assembler za pristup svim instrukcijama mikrokontrolera.

ARM7 i ARM9 mikrokontroleri

ARM7 i ARM9 rade na RISC arhitekturi s 32-bitnim registrima i fiksnom dužinom koda. Ova arhitektura pruža 4GB adresnog memorijskog prostora. U odnosu na 8 i 16 bitne uređaje nisu pruženi specifični tipovi memorije iz razloga što se adresiranje memorije izvodi s 32 bitnim registrima mikrokontrolera. Registri periferije se nalaze u linearnom adresnom prostoru [7]. Thumb instrukcije poboljšavaju gustoću koda pružajući 16-bitne komprimirane instrukcije. ARM7 i ARM9 jezgre su jednostavne za korištenje, cjenovno im je pristupačna izrada, i podržavaju moderne tehnike programiranja. Uključuju 2 razine prekida sustava s normalnim i

brzim prekidima. Pružaju učinkovitu upotrebu operacijskih sustava u realnom vremenu pomoću operacijskih načina rada mikrokontrolera, odvojenih prostora i djelotvornih prekida.

ARM7 i ARM9 istaknutije značajke

Memorijski prostor uključuje periferiju i eliminira potrebu za specifičnim tipovima memorije, te ima arhitekturu s usmjeravanjem. Uključuju standardne i brze prekide sustava, te vektorsko upravljanje prekidima. Koriste načine rada procesora s odvojenim prekidima stoga za predvidljive zahtjeve stoga te kompaktne 16-bitne instrukcije. U usporedbi s ARM načinom, Thumb način koda je otprilike 65% veličine ARM koda i 160% je brži kad se izvodi kroz 16-bitni sustav memorije [7].

ARM7 i ARM9 podrška razvojnih alata

Imaju funkcije umetanja koje optimiziraju parametre, a imaju i umetnuto asembliranje. Podržavaju posebne ARM/Thumb instrukcije u C/C++ programu. RAM funkcija im omogućava brze prekide koda i programiranje brze memorije u sustavu, a ARM/Thumb međusobno pružaju izvanrednu gustoću koda i bolje performanse mikrokontrolera. Sustav ima ugrađen C/C++ kompajler u realnom vremenu.

Cortex-Mx mikrokontroleri

Dizajnirani su za tržište 32-bitnih mikrokontrolera, Cortex-Mx mikrokontroleri kombiniraju odlične performanse s značajkama prethodno dostupnima samo kod brzih i sofisticiranijih procesora. S linearno ujedinenim memorijskim prostorom, Cortex-Mx procesor pruža značajke povezivanja bitova i podržava velike i male krajnje konfiguracije. Dostupni su unaprijed određeni tipovi memorije, dok neki dijelovi memorije imaju dodatne attribute. Kod se može nalaziti u SRAM-u, vanjskom RAM-u, ali većinom se nalazi u području za kod, a periferni registri se nalaze u memorijskom prostoru. Gustoća koda je povećana s Thumb i Thumb2 instrukcijama ovisno o verziji procesora. Dostupni su i specijalni registri, ali se ne koriste za normalnu obradu podataka. Nekim od 16-bitnih Thumb instrukcija se može pristupiti samo iz nekih registara.

Cortex-Mx istaknute značajke

Ima vektorsko upravljanje prekidima koje optimizira vanjske prekide, te ima samo jedan set instrukcija (Thumb2), koji osigurava kompatibilnost programa s cijelim ARM sustavom. Koristi nekoliko načina niske potrošnje s kontrolerom ponovnog pokretanja.

Cortex-mx podrška razvojnih alata

Registri i periferija jezgre su dostupni kroz C/C++ funkcije, a za ispravljanje sustava u realnom vremenu koristi neovisni kanal mikrokontrolera. Za direktan pristup memoriji koristi

mogućnosti uklanjanja pogreški bez zaustavljanja procesora. Ovaj program kompatibilan je s Cortex-Mx arhitekturama [10].

2.2.2. Prednosti arhitektura

8051 arhitektura

- Brze ulazno/izlazne operacije i brz pristup podacima u čipu.
- Efikasne i fleksibilne prekide sustava
- Operacije koriste malo snage

8051 uređaji se uobičajeno koriste za male i srednje velike aplikacije koje zahtijevaju visoku propusnost ulaza/izlaza. Dostupni su mnogi uređaji s fleksibilnom periferijom čak i u najmanjim pakiranjima čipova.

C166, XE166 i XC2000 arhitektura

- Iznimno brze ulazno/izlazne operacije s kontrolerom periferije
- Vrlo brze prekide sustava s pojačanom periferijom
- Djelotvornu aritmetiku i brz pristup memoriji

Ovi uređaji koriste se za srednje i velike aplikacije koje zahtijevaju visoku propusnost ulaza/izlaza.

Ova arhitektura je prilagođena zahtjevima sustava koji uključuju mješavine tradicionalnog kontrolera i DSP algoritma.

ARM7 i ARM9 arhitektura

- Velik prostor adresa
- 16-bitne Thumb instrukcije pružaju veliku gustoću koda
- Efikasna podrška za sve C-integer tipove podataka

ARM7 i ARM9 mikrokontroleri se koriste za aplikacije s velikim memorijskim zahtjevima i za aplikacije koje koriste algoritme bazirane na PC-u (eng. *personal computer*).

Cortex-Mx arhitektura

- Jedan skup instrukcija, Thumb2, smanjuje kompleksnost programskog koda i eliminira opterećenje potrebno za prebacivanje između ARM i Thumb instrukcija
- Otklanja prekide i pruža nekoliko podesivih razina prioriteta
- Ekstremno nisku potrošnju energije s mogućnošću štedljivog moda (eng. *sleep mode*)

Cortex-Mx arhitektura mikrokontrolera je dizajnirana za sustave u stvarnom vremenu, ali se može koristiti za aplikacije kod kompleksnih sustava na čipu (eng. *System-on-Chip*) [10].

Usporedba koda

Različite arhitekture imaju pozitivne i negativne strane, a optimalni izbor ovisi o zahtjevima aplikacija. Pri izboru optimalnog mikrokontrolera za ciljani ugradbeni sustav može pomoći poznavanje sljedećih razlika između kodova.

8051 mikrokontroleri pružaju U/I adresne portove i instrukcije za pristup trajnoj memoriji direktno, a pružaju i aritmetiku bitova zahtijevajući nekoliko instrukcija mikrokontrolera za računanje adresa.

C166, XE166, XC2000 mikrokontroleri pružaju ulazno/izlazne adresne portove i instrukcije za pristup trajnoj memoriji direktno, a pružaju i djelotvorno aritmetičko adresiranje s direktnom podrškom za 16MB adresnog prostora.

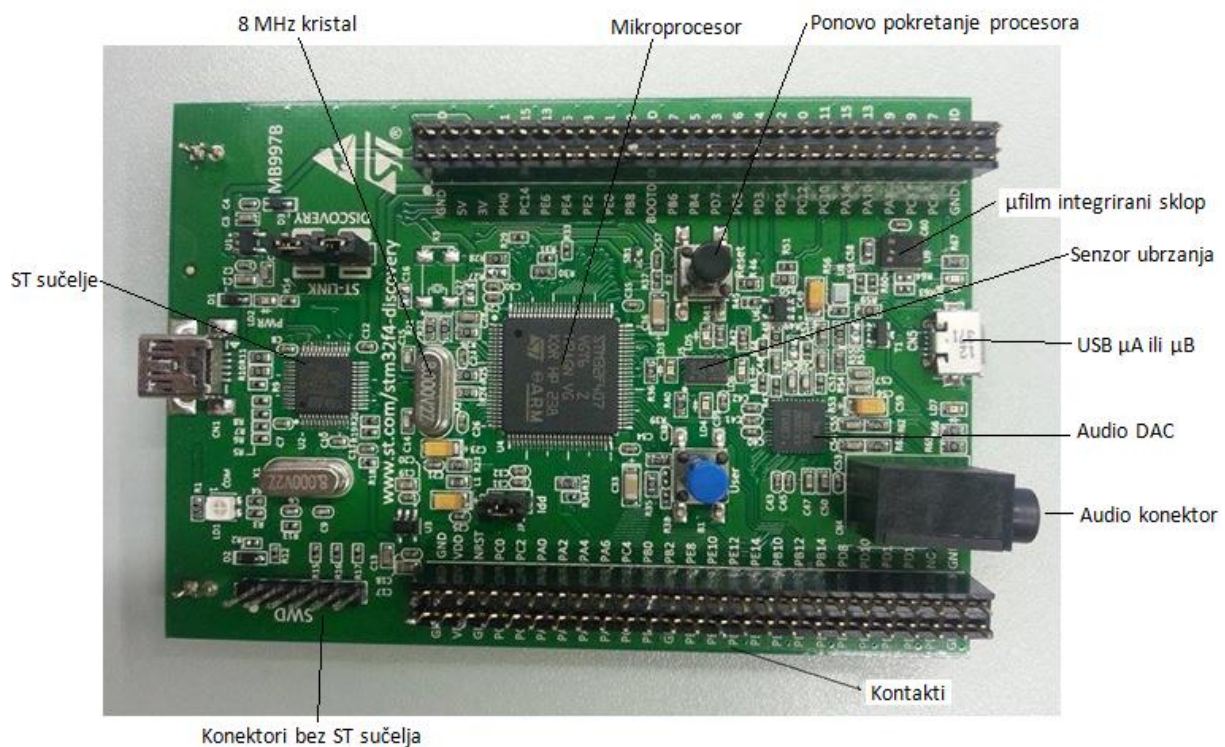
ARM7 i ARM9 mikrokontroleri pružaju samo indirektan pristup memoriji. Kod njih nema operacija s bitovima. Ti kontroleri su vrhunski djelotvorni s obzirom na usmjeravanje adresa i to da uvijek koriste 32-bitni način adresiranja.

Cortex-Mx uređaji pružaju samo indirektan pristup memoriji, ali dopuštaju djelomične operacije s bitovima, a kod tih uređaja svaki registar se može koristiti kao usmjerivač podataka struktura i nizova [10].

2.3. Mikroprocesorski sustav STM32F4

Mikrokontroler STM32F407 je razvijen za edukacijske svrhe i on je dio razreda STM32 mikrokontrolera. Mikrokontroleri omogućavaju izradu kompleksnijih sustava po narudžbi zahvaljujući njihovom programu. U zadnje vrijeme se pojavljuje dosta istraživača i investitora koji izrađuju elektroničke uređaje prema narudžbi. STM32F4 omogućava raznoliku upotrebu poput jednostavnog upravljanja baterijom pa sve do kompleksnih sustava kao što je autopilot za helikopter u stvarnom vremenu (eng. *real time*). Komponente ovog sustava su cjenovno pristupačne, a to opravdava njihovu upotrebu kod jednostavnijih sustava. Pločice za ovaj mikrokontroler su cjenovno pristupačnije u izradi jer se koriste za cijele razrede mikrokontrolera. Prednost je i to što nudi različite izbore alata. Suprotno tome Arduino nudi jednostavne sustave koji omogućuju brz put do prototipa, ali s druge strane to ima svoju cijenu jer nije dovoljno opremljen za upravljanje drugim aktivnostima u kompleksnom sustavu u stvarnom vremenu, niti je dovoljno programski povezan sa svim vanjskim uređajima, a krajnje ne podržava operacijske sustave u stvarnom vremenu što je potrebno kod kompleksnijih sustava. Iz tog razloga se STM32F4 nameće kao bolje rješenje

nego rješenja na Arduino platformi. STM32F4 ipak zahtijeva neko osnovno poznavanje programskih jezika pa je iz tog razloga Arduino bolje rješenje za početnike. Za spajanje fizičkih djelova STM32F4 nije potrebno neko predznanje jer s dobrim opisom spajanja početnik može uspješno spojiti pločicu i njene ulaze i izlaze. Dakle tvrtka STM je razvila pločicu kako bi pomogla programerima da krenu koristiti ARM procesore na taj način da su napravili cjenovno pristupačnu razvojnu pločicu s dosta periferije na sebi i omogućili da ju se može integrirati u vlastiti sustav tako što su sve kontakte iz mikroprocesora izvukli na pločicu a to je vidljivo na slici 2.3.



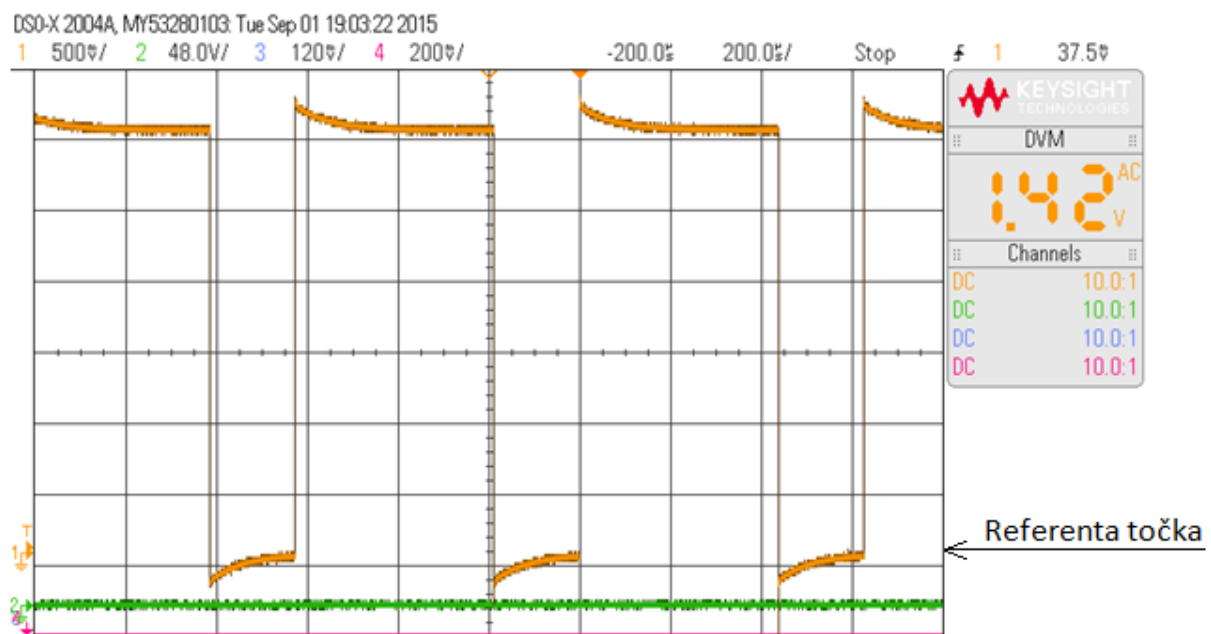
Slika 2.3. Mikroprocesorski sustav STM32F4

Ova pločica koristi ARM Cortex-M4 jezgru koja može raditi do 168MHz a to je zadnja generacija ARM procesora za ugrađivanje u sustave. STM32F4 razred je kompatibilan s svim ARM alatima i programima. Također na pločici se nalazi i mikrokontroler STM32F407VGT6, te 1MB brze (eng. *flash*) memorije. Ova pločica ima 82 I/O (ulaz/izlaz) pina, razne ulaze i izlaze kao što su I²C, USB, SPI i ostali, a posebno je zanimljivo da ima napredne kontrolne timere koji se mogu ponašati kao PWM generatori multipleksirani na 6 kanala. Znači ima PWM izlaze s programski umetnutim vremenom kašnjenja. Kada ih se konfigurira kao 16-bitne PWM generatore imaju potpunu modulaciju (od 0 do 100%). Pločica

koristi i DMA (eng. *direct memory access*) kontroler koji omogućava PWM kanale na toj pločici [6].

2.3.1. Modulacija PWM signala STM32F4 sustavom

Sa STM32F4 mikroprocesorskim sustavom može se modulirati PWM signal, a to je realizirano u laboratoriju. Nakon što se sustav poveže s računalom koristeći USB port na STM32 sustavu, potrebno je upisati program u mikrokontroler koji će realizirati zadane funkcije. Koristeći Microsoft C pozove se knjižnica funkcija s već unaprijed napisanim naredbama koje se pozivaju prema potrebi. Nakon što su pozvane potrebne funkcije potrebno je prevesti i upisati program u STM32F407 mikroprocesor. Upisivanjem koda sustav daje na kontakte koji su upisani u programu izlazne vrijednosti koje se zatim prate na osciloskopu a prikazane su na slici 2.4.



Slika 2.4. PWM impuls (0.5V/d.s.,200µs/d.s.)

Za prikaz ovog signala podešena je frekvencija na $f = 5000\text{Hz}$. Nakon što su upisane zadane funkcije kojima se pozivaju naredbe za generiranje PWM signala, potrebno je mijenjati samo vrijednosti dok funkcije ostaju iste. Nakon promijena vrijednosti potrebno je upisati novi kod u mikrokontroler koristeći kompajler. Nakon pokretanja programa PWM signal se prikazuje na osciloskopu koji je spojen na programom unaprijed određene kontakte na mikrokontroleru STM32F407. Generiranje PWM signala STM32F4 mikroprocesorskim sustavom pogodno je

za učenje a kako i je vidljivo na Slici 2.4. generiranje signala je bilo uspješno. Ovaj sustav se isto tako može upotrijebiti za neke druge aplikacije kao što je PWM upravljanje jačinom svjetla LED dioda, upravljanja servo motorom, pa čak i sviranjem glazbe upotrebom različitih frekvencija, a izlaz se tada spaja na piezo zujalicu ili na zvučnik [9].

2.3.2. Upotreba STM32F4 mikroprocesorskog sustava

STM32 se može koristiti u velikom broju aplikacija, a ovdje su navedene neke od njih:

Uređaji:

- Perilice [13]
- Pumpe perilica suđa [13]
- Hladnjaci [14]
- Klima uređaji [16]
- Mobiteli [15]

Medicina:

- Respiratori
- Invalidska kolica
- Pumpe [18]

Industrija:

- Električna vozila [17]
- Pogoni malog i srednjeg industrijskog dometa
- Aktuatori i ventilatori HVAC-a (grijanje, ventilacija i klima uređaji)
- Pumpe
- Puhala

Upravljanje sustavima dijeli se na skalarno i vektorsko upravljanje, skalarno se bazira na V/f metodi, a vektorsko se dijeli na DTC (izravno upravljanje momentom) i FOC (upravljanje u koordinatama polja). FOC upravljanje je kontrola promjenjive frekvencije gdje se struja statora trofaznog izmjeničnog električnog stroja prikazuje kao dvije ortogonalne komponente koje se mogu prikazati kao vektor. Jedna komponenta definira magnetski tok motora, a druga definira moment. Iz zadanih referentnih vrijednosti toka i momenta zadanih od strane upravljanja brzinom pogona kontrola sustava računa odgovarajuće reference komponenti struje. Uobičajeno se koriste proporcionalno-integralni (PI) regulatori da bi se zadržale mjerene komponente struje unutar zadanih referentnih vrijednosti. PWM modulacija pogona s

promjenjivom frekvencijom definira prebacivanje tranzistora prema referencama napona statora koji su izlazne veličine iz PI regulatora [12].

Kontrola vektora STM32F4 mikroprocesorskim sustavom

STM32F4 pruža standardne performanse Cortex-M jezgri za vektorsko upravljanje algoritmima, a uobičajeno se može koristiti kod pogona s vrhunskim performansama. Pruža preciznu kontrolu snage i momenta s brzim reagiranjem, te garantira optimalnu djelotvornost tijekom prijelaznih operacija.

STM32F4 je dio kompleta za upravljanje motorom, u koju spadaju:

- Trofazni permanentni sinkroni motor s upravljanjem koordinatama polja
- Alat za grafičku konfiguraciju (MC Workbench)
- Alat za grafičku dijagnostiku u realnom vremenu (STM Studio)
- Komplet za upravljanje motorom

Vektorsko upravljanje momentom

Ideja je da se pojednostave jednadžbe koje opisuju motor promjenom referentnih koordinata s fiksne jezgre statora na pokretni okvir rotora. To se realizira Clarkovim i Parkovim transformacijama tako da se jednadžbe koje opisuju motor iz sustava koordinata s 3-osi međusobno pomaknute za 120° pojednostave u koordinate s 2 ortogonalne koordinate. Ove varijable su istosmjerne i mogu se regulirati s jednostavnim PID regulatorom pa se onda transformiraju nazad na fiksne namote statora koristeći obrnutu transformaciju. Iz toga proizlaze idući zahtjevi: Intenzivni matematički izračuni (trigonometrijske funkcije, višestruki PID regulatori, izračuni brzine). Minimalna rezolucija od 16-bitna za varijable glavne kontrole, s potrebom za 32-bitnom rezolucijom. Procesor mora ostaviti slobodnog prostora za preostale aplikativne zadatke, kao što je komunikacija i korisničko sučelje.

STM32F4 može zaključati sigurnosni kritični registar kako bi spriječio energetska štetu. Svi ciljani registri su piši/čitaj dok se ne aktivira zaključavanje, kada se upišu dva bita zaključavanja ne može ih se mijenjati do sljedećeg ponovnog pokretanja (eng. *reset*). Ako glavna jezgra padne u stanje greške, unutarnji oscilator se pokreće trenutno. Prekidi se mogu generirati za gašenje ili sigurnosne sljedove ponovnog pokretanja. Također koristi arhitekturu dvostrukog nadzora s odvojenim jezgrama te ima određen ulazni pin za slučaj nužde sa stanjem za programiranje.

Prednosti:

Da bi zaštitio operacije upravljanja motorom od vanjskih poremećaja koristi upravljački algoritam, a u slučaju preopterećenja sustava štiti sigurnosno-kritične registre. Koristi brzu dijagnostiku grešaka, te ima ugrađenu zaštitu sklopovlja od energetske opterećenja bez obzira na status oscilatora.

STM32F4 set upravljanja motorom

Sinkroni motor je moguće pokrenuti u samo nekoliko minuta uz upute za samostalni rad iz seta, te koristeći LCD zaslon i upravljači uređaj koji dolaze sa STM32F4 setom upravljanja a ima i ugrađenu kontrolu momenta i brzine. Koristeći LCD korisničko sučelje za upravljanje motorom može se fino ugađati ili mijenjati mnoge parametre:

- Ugađanje momenta, toka i brzine PID regulatora u realnom vremenu
- Ugađanje dobitka B-EMF-a (za kontrolu bez senzora)
- Variranje ciljne brzine, ciljanog toka i momenta
- Praćenje temperature
- Izbora varijabli za postavljanje na izlaz za provedbu digitalno/analogne pretvorbe

Parametri pogona se mogu ugađati u realnom vremenu s dobivanjem povratnih informacija o promijenjenim vrijednostima.

Na internetu su pružene besplatne knjižnice koje se mogu koristiti, a znatno ubrzavaju razvoj aplikacija za upravljanje motorom, potrebno je presnimati knjižnicu, razviti aplikaciju te onda podesiti parametre sustava. Koristeći istu platformu za sklopovlje i programe mogu se ugraditi posebni zahtjevi aplikacija koristeći prednosti STM32F4 kontrolerskog sustava i njegovog sučelja [12].

3.ZAKLJUČAK

Prilikom pisanja ovog rada razmatrana je upotreba mikrokontrolera u mehatronici. Danas je nezamisliv svakodnevni život bez tehnoloških rješenja i mikrokontrolera jer se upotrebljavaju u svim djelatnostima, od običnih kućanskih aparata do znanstvenih projekata. S obzirom da im je primjena mnogobrojna tema je sužena na generiranje PWM signala STM32F407 mikrokontrolerom. PWM upravljanje je metoda za skaliranje napona i jednostavno ju je realizirati iz razloga jer se svodi na reguliranje širine impulsa dok period ostaje jednak, a učinkovita je zato jer unutar jedne periode imamo vrijeme dok je vrijednost impulsa nulte vrijednosti i u tom trenutku izvor ne predaje energiju. S druge strane utječe se na srednju vrijednost amplitude unutar te periode. Promjenom trenutačne srednje vrijednosti signala može se utjecati na valne oblike struje i na smanjenje prisutnosti viših harmoničkih komponenata, što je u radu promotreno kroz rad izmjenjivača i faktor harmoničkog izobličenja THD. Navedeni su značajni proizvođači mikrokontrolera s različitim arhitekturama i navedene su neke razlike i prednosti između njih. Mikrokontroleri koji se temelje na ARM arhitekturi danas se ugrađuju u više od 90% mobilnih uređaja [1], a velika prednost im je što kombiniraju vrhunske performanse s značajkama koje su prethodno bile dostupne samo kod sofisticiranijih procesora (npr. DSP). Mikroprocesorski sustav STM32F407 dizajniran je prvenstveno za eksperimentiranje a ujedno ima pristupačnu cijenu, te omjer između performansi i cijene koji je prije nekoliko godina bio nezamisliv (cijene mikroprocesorskih sustava su bile više tisuća eura). Taj sustav temelji se na Cortex-M4 mikroprocesoru, ali s obzirom da je on dio STM razreda mikrokontrolera moguće je na njega staviti i druge mikroprocesore iz tih razreda. Navedene su i neke primjene upotrebe STM32F4 mikroprocesorskog sustava među kojima je i PWM generiranje signala koji je snimljen na osciloskopu te prikazan na Slici 2.4. Napisana je i usporedba 8, 16 te 32-bitnih mikrokontrolera različitih proizvođača te koje su im razlike i prednosti, a napravljena je i usporedba pisanja koda za te mikrokontrolere.

4.LITERATURA

- [1] R. Gabelić: članak iz novina Aljazeera: <http://balkans.aljazeera.net/vijesti/intel-vise-nije-vodeci-proizvodac-cipova>
- [2] Srednja strukovna škola V. Vlatkovića: „Arhitektura i organizacija digitalnih računala“, s interneta: <http://www.ss-strukovna-vvlatkovica-zd.skole.hr/upload/ss-strukovna-vvlatkovica-zd/multistatic/58/ArhitektRacunMikroproc.pdf>
- [3] S. Kreso, S. Huseinbegović: „Predavanje 9, 8-bitni mikrokontroleri“, s interneta: http://www.ss-strukovna-vvlatkovica-zd.skole.hr/upload/ss-strukovna-vvlatkovica-zd/multistatic/39/Predavanje_9%5B1%5D_Sarajevo.PDF
- [4] N. Maleš: članak sa gradimo.hr: <http://www.gradimo.hr/clanak/mehatronicar-ndash-zanimanje-buducnosti/25894>
- [5] M. Nikolić: automatika baza znanja: <http://www.automatika.rs/baza-znanja/mehatronika/mehatronika-kao-spoj-disciplina-i-primena-u-praksi.html>
- [6] STMicroelectronics: „Mikrokontroler STM32F4 [PDF: DM00037051 STMF32F4]“, s interneta: <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00037051.pdf>
- [7] V. Milanović: „PC interfejsi“ knjiga
- [8] S. Sladić: „Autonomni izmjenjivači II“ s interneta : http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zee/nastava/svel/eelektronika/download.html
- [9] Bvsystems-Electronic & IT solutions: „K8055 Hardware Tutorial: Analog Outputs“ s interneta: <http://www.bvsystems.be/k8055hardwareTutorial3.php>
- [10] Keil: „Getting started“ s interneta: <http://www.keil.com/product/brochures/uv4.pdf>
- [11] Mbed: „Pulse width modulation“ s interneta: https://developer.mbed.org/media/uploads/phill/mbed_course_notes_-_pulse_width_modulation.pdf
- [12] STmikroelektronika: „Kontrola motora sa STM32“ s interneta: http://www.st.com/web/en/resource/sales_and_marketing/promotional_material/brochure/brstm32mc.pdf
- [13] D. Ross: „Blog“ s interneta: <http://ele-tech.com/html/stm32-application-on-the-impeller-washing-machine-of-frequency-conversion.html>

- [14] Comquit s interneta: <http://ele-tech.com/html/stm32-application-on-the-impeller-washing-machine-of-frequency-conversion.html>
- [15] A. Fabio: „Reverse engineering an lg cell phone display“ s interneta: http://www.youtube.com/watch?v=XFh_ztxcMsQ
- [16] „Oncology Research Paper“ s interneta: <http://www.oncologypaper.info/24107571.html>
- [17] H. Ming: „Asynchronous Controuers“ for Electric Vehicle“ s interneta: <http://www.topresearch.org/showinfo-58-285730-0.html>
- [18] L. Chen: „Development of a Double-Channel Medical Signal Generator Based on STM32 with High Performance“ s interneta: <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=25526>

5. POJMOVI

PWM – pulse width modulation – širinsko impulsna modulacija

ARM – *Advanced RISC Machine*) – napredni RISC stroj

THD – total harmonic distortion – faktor harmoničkog izobličenja

RISC – reduced instruction set computer – tip središnje jedinice procesora sa smanjenim skupom naredbi

THUMB – podskup najčešće korištenih 32-bitnih ARM instrukcija

FUNKCIJE PREKIDA – u sustavima programiranja, prekid je signal prema procesoru emitiran od strane sklopovlja ili programa koji pokazuje događaj koji treba trenutnu pozornost

ASSEMBLER – to je programski jezik niskog nivoa koji binarni kod specifične procesorske arhitekture predstavlja u ljudima čitljivom obliku

DTC – direct torque control – izravno upravljanje momentom

FOC – field oriented control – upravljanje u koordinatama polja

PC – personal computer – osobno računalo

DMA – direct memory access – omogućava vanjskim jedinicama izravan pristup glavnoj memoriji

PID – proporcionalno integralno derivacijski regulator

EMF – electromotive force – elektromotorna sila

SoC – System on a chip – sustav na čipu

DSP – Digital signal processing – digitalna obrada signala

IP jezgra – intellectual property – lagana integracija u SoC

6.SAŽETAK

Budući da je riječ o višeslojnoj suvremenoj temi (ARM Cortex kompatibilni procesori su se počeli proizvoditi 2006 godine), u radu je teorijski obrađeno nekoliko ključnih poglavlja. Osnovne činjenice o mikrokontrolerima su proširene usporedbom više mikrokontrolera i njihovom primjenom. Opisano je upravljanje električnim strojem metodom širinsko impulsne modulacije, te generiranje PWM signala na sustavu STM32F4-Discovery kit i koje su mogućnosti njegove primjene.