

# Mjerenje elektromagnetskog polja hidrogenatora u svrhu monitoringa

---

**Barić, Matej**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:516481>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-20**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I**

**INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA  
HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA**

**Diplomski rad**

**Matej Barić**

**Osijek, 2022 godine.**

Sadržaj:

1. UVOD .....	2
2. HIDROELEKTRANE.....	4
2.1. Osnovne karakteristike agregata.....	6
3. NADZORNI SUSTAV.....	7
3.1. LabVIEW .....	12
4. NADZOR MAGNETSKE INDUKCIJE U ZRAČNOM RASPORU .....	15
4.1. Nadzor zračnog raspora .....	16
4.2. Senzor magnetske indukcije.....	17
5. DETEKCIJA KRATKOG SPOJA NAMOTA ROTORA .....	21
5.1. Izgled valnog oblika kod magnetske indukcije .....	22
6. METODA MAKSIMALNE RAZLIKE AMPLITUDA MAGNETSKE INDUKCIJE SUSJEDNIH POLOVA.....	27
7. METODA DIFERENCIJALNOG MJERENJA MAGNETSKOG POLJA .....	29
7.1. Analiza podataka .....	30
8. USPOREDBA MXDiff i DMMP METODE .....	33
9. APLIKACIJA ZA OBRADU SIGNALA MAGNETSKE INDUKCIJE .....	35
9.1. Inicijalizacija.....	36
9.2. Simulacija.....	38
9.3. Analiza .....	41
9.4. Prikaz valnih oblika .....	46
9.5. Prednje sučelje .....	49
10. Polarni prikaz.....	50
10.1. Izrada polarnog plota .....	51
Zaključak.....	54
Sažetak .....	55
Abstract .....	56
Literatura .....	57
Životopis .....	58

## 1. UVOD

Elektroenergetski sustav je tehničko-tehnološki sustav koji obuhvaća tok energije kroz njezinu proizvodnju, prijenos i distribuciju unutar neke države, regije ili nekog područja. Električna energija ima veliki utjecaj na razvoj čovječanstva. Ključnu ulogu u proizvodnji električne energije imaju elektrane koje koriste primarne izvore energije kao što su kinetička, unutarnja, toplinska, nuklearna, energija zračenja ili potencijalna.

Hidroelektrana je jedan od prvih elektrana koje koriste potencijalnu energiju vode kako bi ju pretvorili u kinetičku energiju njezinog strujanja pa iz te mehaničke vrtnje same turbine dobili na kraju električnu energiju u električnom generatoru.

Kada govorimo o nadzoru (*engl. Monitoring*) hidroenergetskog postrojenja moramo znati da monitoring hidroenergetskih postrojenja seže do pojava prvih hidroelektrana. Važnu ulogu ima pri održavanju postrojenja i svodi se na analizu i mjerenje električnih i mehaničkih veličina koje nam opisuju sam rad hidroelektrane. Kako je tehnologija napredovala napredovao je i monitoring. Kroz povijest znamo da je nadzor obavljalo osoblje koje se nalazilo u pogonu. Koji su uz pomoć svog iskustva i pomoć osjetila (mirisa, sluha, opipa, vida) procjenjivali stanje u pogonu (agregatima). Danas je stanje s monitoringom napredovalo mnogo, danas pričamo o sustavima koji trajno nadziru rad hidroenergetskog postrojenja.

Monitoring je sustav koji ne može unaprijed predvidjeti vrijeme kvara pojedinih komponenata postrojenja. Monitoring daje pogonskom osoblju rano upozorenje o mogućem dolasku do problema kroz alarm i zaštitu. Njegova je funkcija prikupljanje što većeg broja podataka i rad analize kako bi dobili što bolju sliku o stanju agregata.

Remont hidroelektrana je unaprijed vremenski određen što povlači za sobom negativnosti kao što su: nepotreban trošak ako je remont između dva uzastopna remonta kraći nego što je to realno potrebno i smanjenje trajanja i sigurnosti opreme ako je remont između dva uzastopna remonta duži nego što je potrebno. Iz tih razloga danas se razmatra da se izbací vremenski period rada remonta na hidroagregatima i zamijeniti ga održavanjem koje se temelji na monitoringu, na stanju agregata. Na taj način se mogu značajno smanjiti troškovi održavanja i do 80%, a povećanje životne dobi može doći i do 40%. Neke od standardnih veličina koje ulaze u sustav dijagnostičkog monitoringa hidroagregata su: zračni raspor, parcijalna izbijanja, magnetska indukcija u zračnom rasporu, vibracija

itd. Uz to imamo i procesne veličine kako što su naponi i struje armaturnog i uzbuđenog namota, radna i jalova snaga, temperatura itd., bez njih nije moguće odraditi cjelovitu analizu kako bi mogli utvrditi stanje agregata.

Na generatorima najčešći kvarovi su usko povezani s izolacijskim sustavom statora i rotora. Kvar na izolacijskom sustavu dovodi do kratkog spoja na namotu. Zato je važno na vrijeme detektirati kratki spoj zavoja jer detekcija u ranoj fazi može spriječiti veće kvarove na agregatu. U ovom radu obrađuje se tema mjerenja elektromagnetskog polja hidrogenatora u svrhu monitoringa. Gdje ćemo proučavati odnos kratkog spoja zavoja namota i magnetske indukcije. Metodom maksimalne razlike amplituda magnetske indukcije susjednih polova. Za analizu i obradu podataka koristiti će se program firme National Instruments LabVIEW.

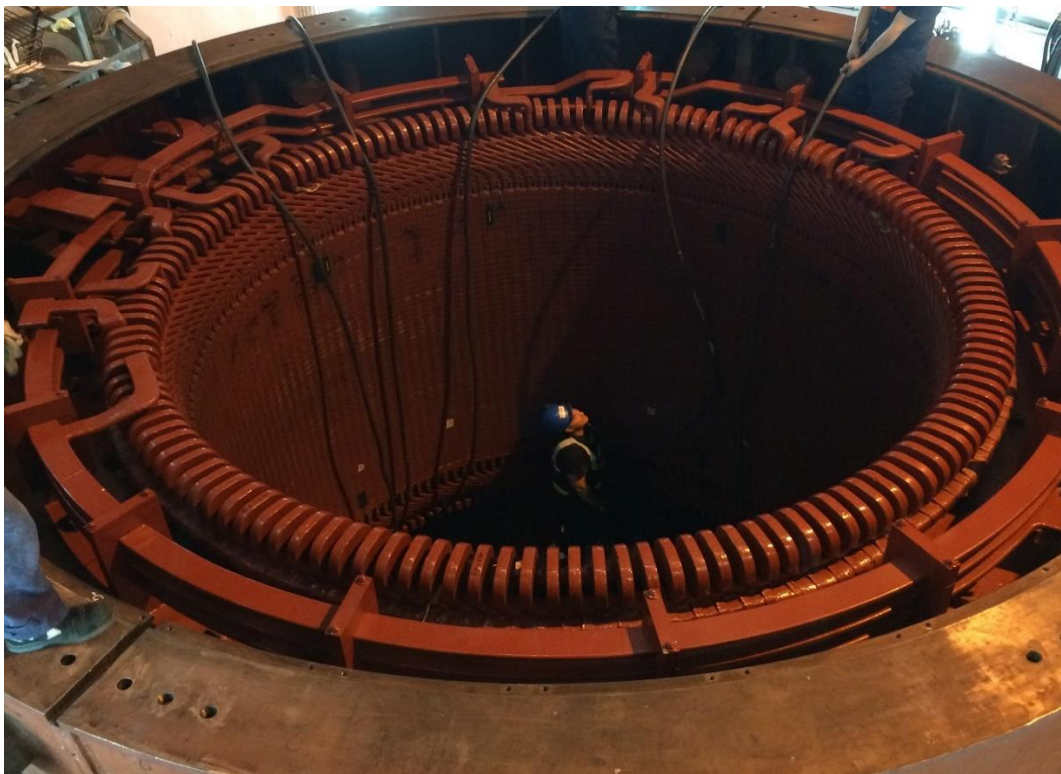
## **2. HIDROELEKTRANE**

Za proizvodnju električne energije potencijalna energija vode jedna je od najrasprostranjenijih obnovljivih izvora energije. Kao što smo rekli ranije jedan od prvih elektrana koje koriste potencijalnu energiju vode kako bi ju pretvorili u kinetičku energiju njezinog strujanja pa iz te mehaničke vrtnje same turbine dobili na kraju električnu energiju u električnom generatoru.

Jedna od vrsta hidroelektrana je reverzibilna hidroelektrana ( dalje RHE ) koja ne samo da proizvodi električnu energiju iz vode , ona tu istu vodu pumpa nazad u akumulacijsko jezero u doba dana kada je to ekonomski najisplativije i kada je potražnja za električnom energijom najmanja ( noću ).

Najveća hidroelektrana takve vrste je RHE Velebit. Sa svojom ukupnom instaliranom snagom 276 *MW* to je instalirana snaga vodnih turbina, dok je instalirana snaga crpki u crpnom režimu rada 240 *MW*. Hidroelektrana može raditi u tri režima rada, a to su crpnom, turbinskom i u kompenzatorskom. Prosječan godišnji rad RHE Velebit je oko 4000 – 4500 sati, dok polovicu svog rada radi u turbinskom radu, u crpnom režimu radi oko 30%, a u kompenzatorskom pogonu ostatak vremena. Elektrana proizvede u prosjeku godišnje 430 *GWh*.

Na slika 2.1. je vidljiva unutrašnjost statora RHE Velebit. Na statoru su ugrađena dva senzora kojima je uloga mjerenje magnetske indukcije. Svi signali koji se prikupe služe za analizu, a kasnije i za simulaciju kratkog spoja na međuzavojima.



*Slika 2.1. Unutrašnjost statora u generatoru na RHE Velebit*

## 2.1. Osnovne karakteristike agregata

RHE hidroagregat čine motor-generator i crpka-turbina.

Motor-generator je sinkroni stroj s istaknutim polovima (hidrogenerator). Rotor sadrži 10 polova, a proizvodnja je s domaćeg tržišta.

Tip	S 4457 – 10
Nazivna snaga u gen. režimu	155 MVA
Nazivna snaga u mot. režimu	135.5 MVA
Nazivni napon	15.75 kV $\pm$ 7.5%
Nazivna struja	5 688 kA $\pm$ 7.5%
Nazivni faktor snage $\cos\varphi$	0.89
Nazivni napon uzbude	180 V
Nazivna struja vrtnje	1 193 A
Nazivna brzina vrtnje	600 r / min
Maks. brzina vrtnje pri pobjegu	910 r / min

*Tablica 2.1.1. Karakteristike hidrogeneratora*

Proizvođač crpke-turbine je J.M. Voith AG, St. Polten, Austrija.

Turbina		Crpka	
Hmax	542 m	Hmax	552
Qmax	32 m <sup>3</sup> /s	Qmax	20.5 m <sup>3</sup> / s
Pmax	155 MW	Pmax	121 MW
N	600 r / min	N	600 r / min
Promjer rotora turbine	3137 mm		
Br. rotorskih lopatica	7		
Br. statorskih lopatica	16		

*Tablica 2.1.2. Karakteristika crpke-turbine*

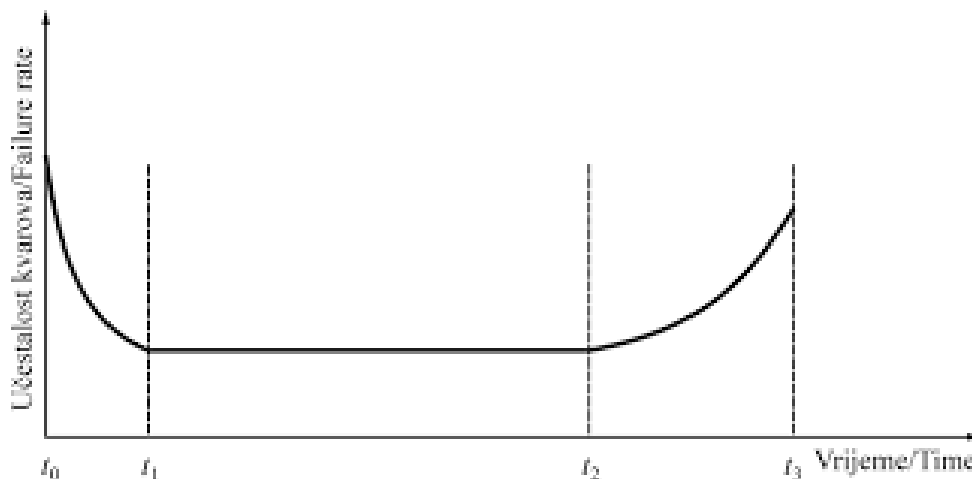
Moment tromosti rotirajućih dijelova cijelog agregata (generatora i turbine) iznosi  $I = 260 \text{ tm}^2$ .



### 3. NADZORNI SUSTAV

Nadzorni sustav (engl. monitoring) u daljnjem tekstu ćemo koristiti pod izrazom monitoring. Znamo da životni vijek motora, stroja i ostale industrijske opreme nije vječan. Sve ima svoj rok trajanja tako je i u industriji. Rok trajanja nam govori da će u tom vremenskom periodu stroj, motor ili neka industrijska oprema biti u potpunosti funkcionalna. U povijesti održavanje industrijske opreme se temeljilo na tradicionalno sustavu, a to je rad sustava do kvara. Gdje bi sustav radio dok ne dođe do nekog neočekivanog kvara i onda bi se išao servisirati. Takav pristup iziskuje velike troškove, manju raspoloživost opreme i veliku vjerojatnost nastanka havarije ili uništenja cijelog električnog staja. Kasnije su se uvela vremenska ograničenja. Gdje je određeno da se remont održavaju ciklično, najčešće je to jednom godišnje. Danas je stvar drugačija, danas uz pomoć monitoring sustava u stvarnom vremenu ( engl. real-time ) pratimo rad postrojenja. Uz pomoć raznih senzora, skupljaju se podaci koji se kasnije analiziraju i simuliraju. Tako dobivamo trenutno stanje u pogonu, ne može se unaprijed predvidjeti kvar, ali se može pravovremeno reagirati i otkloniti da ne dođe do nekog kvara. Što vodi do toga da se vremenski period između remonta izbaciti i da se preko monitoringa prati zdravlje stroja. Jer zašto bi popravljali i zaustavljali sustav ako za to nema potrebe.

Na *slika 3.1.* možemo vidjeti krivulju srednjeg vremena do kvara. Gdje nam pokazuje da novi dio opreme u svom početku pri puštanju u pogon ima najveću mogućnost da dođe do kvara.



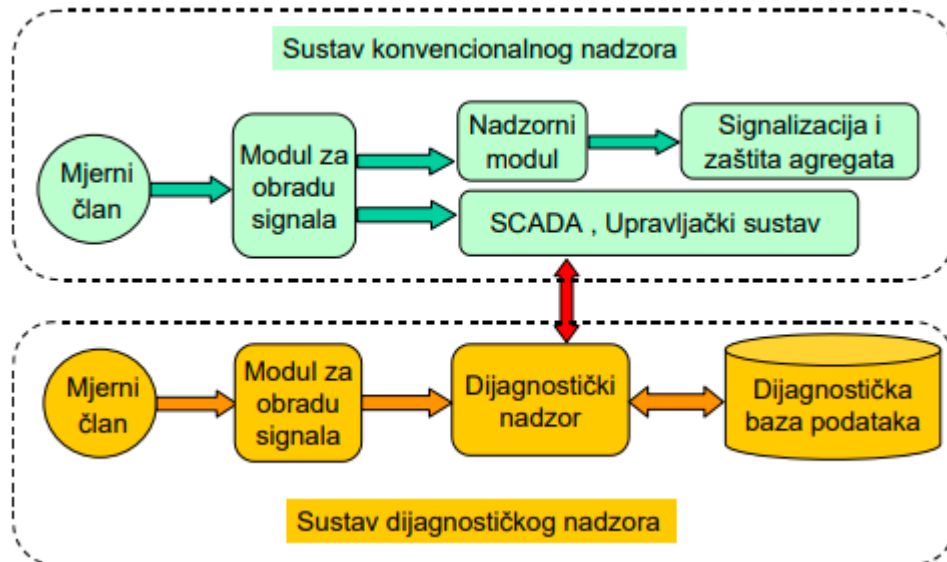
*Slika 3.1. Krivulja srednjeg vremena kvara*

## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

Od vremena  $t_0$  do  $t_1$  govorimo o trenutku puštanja u pogon, u intervalu od  $t_1$  do  $t_2$  normalan životni vijek, a od  $t_2$  do  $t_3$  govorimo o istrošenosti opreme.

Kako se sustav monitoringa razvijao, to je uvelike pridonijelo modernizaciji i razvoju ispitne opreme koja je zasnovana na mikroprocesorima i računalnim sustavima. Danas, stanje opreme se temelji na podacima o stvarnom stanju pogona, a ne na statičkoj procjeni o životnom vijeku. Zato veliku zadaću u tom sustavu ima dijagnostički nadzor koji prikuplja i sprema veliki broj podataka, analiza u vremenskom i frekvencijskom području, pohranjivanje podataka u stvarnom vremenu i njihova obrada podataka. Kada se dobiju rezultati iz dijagnostičkog sustava, na temelju tih rezultata obrade pravi se plan radova na agregatima, što ostavlja mogućnost velikih ušteda. Primjer ušteda ako je dijagnostički sustav pokazao da nema potrebe za otvaranjem ležaja agregata na temelju rezultata gdje pokazuje ispravno stanje ležaja.

Na slici ispod imamo prikaz razlike u modernom praćenju sustava i konvencionalnom.



Slika 3.1. Prikaz konvencionalnog i dijagnostičkog sustava

Važno je za objasniti što bi bio konvencionalni sustav, a što dijagnostički (moderni) sustav.

Konvencionalni nadzorni sustav sastoji se od dvije paralelne grane. Dok se u jednoj realiziraju signali, u drugoj se predstavljaju nadzorno-upravljački sustavi npr. SCADA. U prvoj grani odgovarajuće veličine hidroagregata se mjere i obrađuju, tako obrađeni dolaze do nadzornih modula koji dobivene veličine uspoređuju s referentnim vrijednostima. Ako dođe do nekih razlika iznad referentne vrijednosti nadzorni moduli će aktivirati alarm i to je ujedno i prvi stupanj nereguliranog stanja ili prorada zaštite kao drugi stupanj. Gledajući kroz povijest takve sustave koji su bili neovisni o sustavu upravljanja, gdje im je osnovna funkcija zaštita, mjerenje i signalizacija. Npr. uređaj za termički nadzor nekog agregata ili transformatora kojima se izlazni releji uključuju u sustavu zaštite.

Kako dolazi do sve većeg i većeg razvoja računalnih tehnologija, tako dolazi do veće mogućnosti u samom praćenju sustava. Teži se što više mjernih funkcija postaviti u jedan zajednički sustav. To je razlog zašto se danas kod projektiranja novih elektrana uključuju funkcije konvencionalnog nadzora kod samog nadzora upravljanja, zaštite ili signalizacije. Ali, ako želimo nadzirati neke važnije veličine i dalje se koriste posebni mjerni moduli koji će nam u slučaju da procesna stanica nije raspoloživa štiti agregat.

Dijagnostički nadzorni sustav ili kako ga danas zovemo monitoring sustav. Ubiti, to nam je nadogradnja i proširenje na konvencionalni nadzorni sustav. Uz veličine koje se već nadziru postoji mogućnost da se iz upravljačkog sustava preuzmu neke od procesnih veličina. A koja je zadaća takvog sustava? Upravo ta da sve te dobivene veličine prikuplja u bazi ili možemo je nazvati u banku podataka i da u nekim slučajevima omogući statičku obradu dobivenih podataka. U konačnici svrha jednog takvog sustava je stvaranje slike o stvarnom stanju agregata. Sustav radi analizu ili provjeru dobivenih rezultata i uspoređuje ih s postavljenim kriterijima, na taj način da sustav signalizira preko dijagnostičkog alarma, koji nema funkciju da može utjecati na rad sustava, ali može ukazati da je došlo do nekih promjena u radu stroja i ukazuje na potrebu detaljnije analize dobivenih rezultata. Kao prvo stanje signalizacije kada dođe do nekih razlika u vrijednostima od normalnih, takva stanja nisu opasna za sami sustav, ali ukazuju na promjene u njemu jer takve promjene mogu biti početak nereguliranom radu i dovesti do opasnih stanja agregata. Dobiveni rezultati nam tvore sliku stvarnog stanja i na osnovu njih se pravi plan radova na agregatima. Na taj način je moguće napraviti uštedu u remontu tako da ako su rezultati dijagnostičkog sustava ukazali da nema nikakvih promjena pri radu

## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

agregata, onda nema ni potrebe za otvaranjem ležajeva agregata i na taj način produžiti vrijeme rada između dva remonta.

Prednost dijagnostičkog sustava nad konvencionalnim sustavom je ta što dijagnostički nadzorni sustav prati i analizira procesne veličine ( napon, struja, snaga, temperatura i protoci ) kako bi mogli ustanoviti uzročno-posljedične veze između veličina pogonskog uvjeta rada i dijagnostičkog sustava.

Koliko će sustavi biti složen i koje veličine ovisi i o veličini hidroagregata, jer u budućnosti potražnja za električnom energijom će biti sve veća. Tako će se i sam broj hidroagregata u hidroelektrani samo povećavati što veže veće i složenije monitoring sustave. Takvi sustavi će s vremenom povećavati opseg veličina koje mjere. U današnjem dijagnostičkom nadzoru mjerene veličine mogu se podijeliti na dvije skupine, a to su standardne veličine te veličine konvencionalnog nadzora.

Dijagnostički nadzor	Vibracije: -Relativne vibracije vratila rotora u kliznim ležajevima -Apsolutne vibracije kućišta ležajeva -Aksijalni pomak rotorskog sustava -Apsolutne vibracije statorskog paketa -Vibracije glava statorskog namota -Vibracije utorskih štapova Magnetska indukcija Zračni raspor Osovinski naponi i struje Parcijalna izbijanja u izolaciji statorskog namota Kavitacija Stupanj korisnosti
----------------------	---

Konvencionalan nadzor	Naponi i struje uzbudnog i armaturnog namota Radna i reaktivna snaga Brzina vrtnje Temperature Tlakovi Protoci Otvor privodnog kola Razina gornje i donje vode
-----------------------	---

*Tablica 3.1. Mjerne veličine*

Postoje različiti načini za rješavanje sustava monitoringa, razlike se mogu pronaći u različitim tvrtkama koje se bave nadzorom rotacijskih strojeva. Za sustave u kojima je trajni dijagnostički nadzor, u nadzornim modulima se provodi konvencionalni nadzor, dok u računalima se provodi dijagnostički. Dijagnostički sustav od uređaja zahtjeva samo sklopove za analogno-digitalnu konverziju. Poslije A/D konverzije kompletna analiza odvija se u računalu. S tim dobivamo sustav koji je fleksibilan, a obrada signala se odvija programiranjem novih programskih modula. Dijagnostički dio sustava može raditi i bez konvencionalnog dijela, tako da mjerni davači i uređaji budu prilagođeni za ulazni signal u računalu. Kako bi se A/D konverzija mogla nesmetano obaviti. Sustav je otvoren za ugradnju obrada koje ne zavise o vrtnji stroja, što nije slučaj s prethodno opisanim tipovima sustava. Primjer takvog sustava je razvila jedna domaća tvrtka iz Zagreba, a sustav se zove CoDiS. Hardver sustava čine anti-aliasing filteri koji omogućuju vjerodostojnu A/D konverziju mjernih signala. Analogno-digitalna konverzija provodi se na komercijalnim modulima za akviziciju, a kompletna obrada signala obrađuje se koristeći programsku podršku (softverski). Sustav ima otvorene ulaze za baze podataka, te je nakon određivanja i programiranja željnog tipa analize, potrebno definirati adresu gdje želimo pohraniti podatke, za njihovo snimanje i pretraživanje. Ovakav sustav je potpuno funkcionalan i bez konvencionalnog dijela nadzornog sustava, bez ikakvih problema provodi kompletnu dijagnostiku sa signalima koje dobiva iz mjernih davača ili iz prilagodnih pojačala.

### 3.1. LabVIEW

LabVIEW ( engl. Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ) je programska platforma i razvojno okruženje za grafičkog programiranje. Proizvela ga je američka tvrtka National Instruments ( NI ). Grafički jezik koji se koristi je “ G “. Najčešće korištenje programa LabVIEW je u svrhu prikupljanja podataka, upravljanje uređajima i automatizaciju u industrijama. Proizveden je za korištenje na različitim operativnim sustavima kao što su: Unix, Linux, MacOS i Microsoft Windows.

Još jednom da ponovimo LabVIEW koristi programski jezik G. Programski jezik koji prati tok podataka pri izvršavanju naredbi (dataflow programski jezik). Program funkcionira tako da su naredbe prikazane grafički poput funkcijskih blokova koje međusobno povezujemo kako bi odredili redoslijed s kojim će se funkcije obrađivati. Međusobna povezanost funkcijskih blokova ili samo ožičavanje potrebno je logični postaviti kako bi program odradio ono što želimo. Varijable se prenose u žicama između funkcijskih blokova, a do izvršenja jedne funkcije dolazi kada jedan funkcijski blok dobije sve potrebne ulazne podatke. Prednost G programskog jezika je ta što ima mogućnost paralelnog izvršavanja naredbi. Program ili potprogram u LabVIEW naziva se virtualni instrument (VI). Svaki VI sadrži tri komponente:

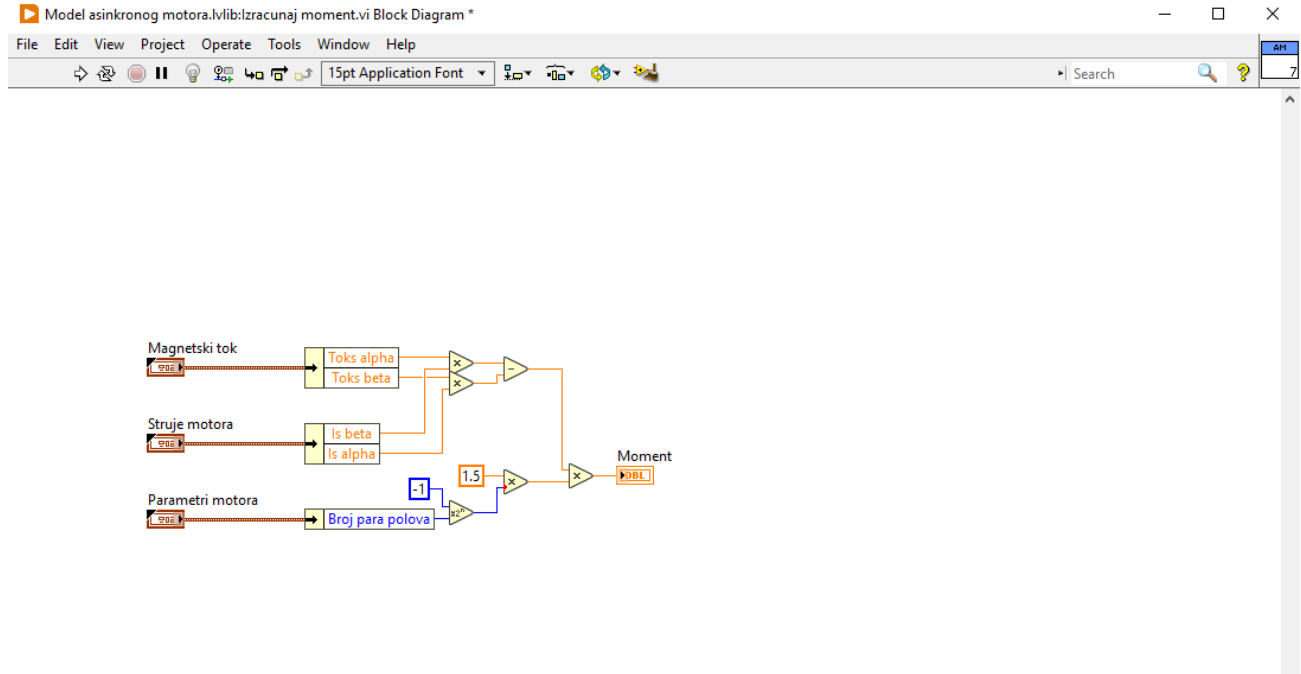
- blok dijagram (engl. *Block Diagram*)
- prednja ploča (engl. *Front Panel*)
- oko priključka (engl. *Connector Panel*)

Objašnjenje svakog dijela.

*Block Diagram* je glavni dio LabVIEW-a, unutar njega se nalazi programirani kod. Unutar tog dijela programer provodi najviše vremena. U blok dijagramu nalaze se mnoge funkcije koje nam služe za obradu signala. Paleta funkcija nudi niz matematičkih operacija, logičke operacije, obrađivanje nizova, strukturu petlji, usporedbu veličina, itd.

Na *slika 3.1.1.* ispod vidimo kako se ožičavaju ili povezuju funkcijski blokovi i kako između njih kruži tok informacija. Imamo ulazne i izlazne veličine u ovom slučaju ulazne veličine su: magnetski tok, struje motora, parametri motora dok je izlazna veličina moment. Koji ćemo kasnije spojiti na *Waveforma Graph*.

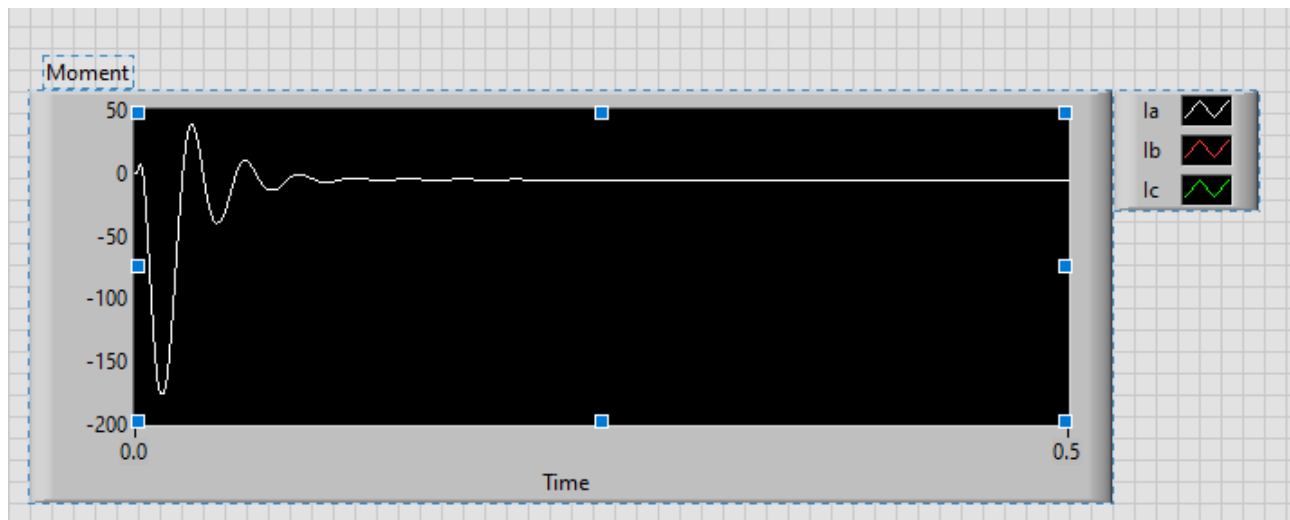
## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA



*Slika 3.1.1. Prikaz Block Diagrama*

*Front Panel* je korisničko sučelje koje sadrži kontrole i indikatore. Kontrole su ulazni podaci koji omogućavaju korisniku unos nekih parametara ili informacija u VI. Kontrole su izvedene kao brojčana vrijednost koja se može po želji korisnika mijenjati. To su bile kontrole, a indikatori su izlazi koji nam pokazuju rezultat koji ovisi o ulaznim parametrima i operacijama koje smo zadali unutar VI-ja. Svi objekti koje postavimo na prednjoj ploči prikazat će se na blok dijagramu kao terminali. LabVIEW omogućava unos potprograma unutar blok dijagrama. Može se unutar jednog funkcijskog bloka ubaciti drugi s tim da moraju biti pravilno povezani ili konfigurirani s Connector Panel-a zajedno s glavnim VI-jem u cjelinu. Razvoj programa nudi opciju da se jednom izrađen program koristi kao samostalna aplikacija.

*Connector Panel* služi za prikaz VI-ja u blok dijagramu kao potprogram i za inicijalizaciju priključaka u sam VI.



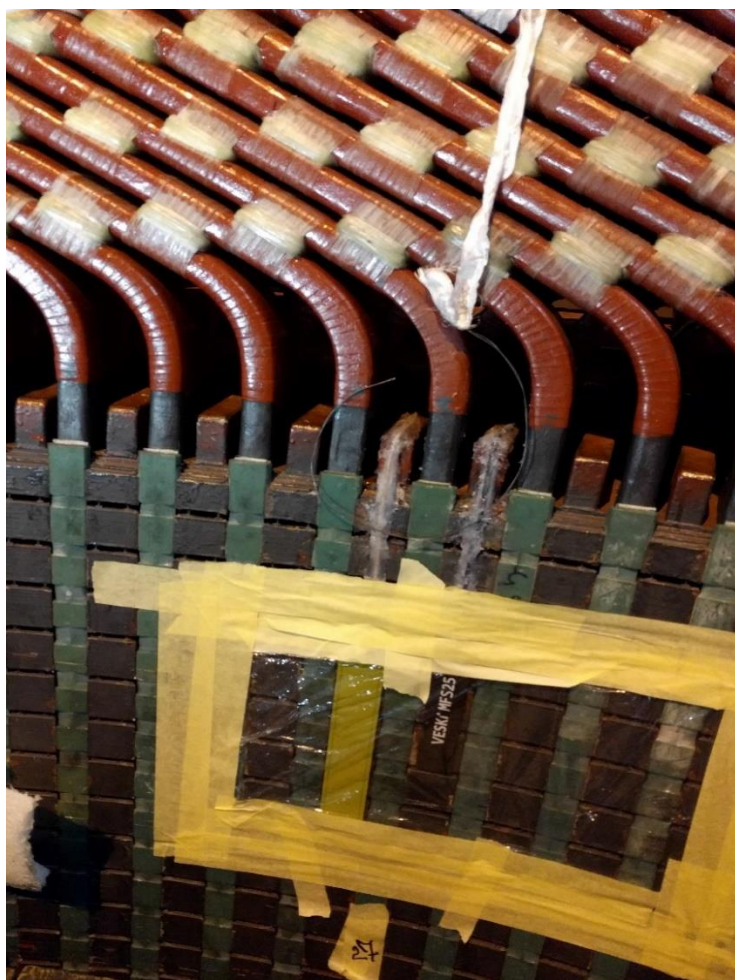
*Slika 3.1.2. Prikaz Front Panela*

LabVIEW program predstavlja nam računalnu simulaciju koji nas pomalo podsjeća na osciloskop ili multimeter radi svoje funkcionalnosti. LabVIEW nam pruža mogućnost komunikacije s različitim uređajima kao što su kamere, mikrofoni ili neki mjerni uređaji.



#### 4. NADZOR MAGNETSKE INDUKCIJE U ZRAČNOM RASPORU

Kako bi otkrili kratki spoj među zavojima uzbuđnog namota provodi se monitoring magnetske indukcije u zračnom rasporu hidrogeneratora. U svijetu, ta se vrsta monitoringa najprije počela primjenjivati kod velikih turbogeneratora i smatra se najmoćnijom metodom za trajni nadzor rotorskog namota. Ali posljednjih godina uočljiv je porast monitoringa magnetske indukcije i kod hidrogeneratora, čime se klasični nadzor izolacije uzbuđnog napona koji se temelji na mjerenju pada napona po polu, zamjenjuje suvremenim sustavom trajnog nadzora. Osim što je povremen i zahtijeva dosta vremena, klasični nadzor izolacije uzbuđnog namota često može biti neefikasan, razlog tome je jer se provodi na generatoru izvan pogona, tj. bez prisutnosti temperaturnih i mehaničkih naprezanja kojima je uzbuđni namot u pogonu izložen.



*Slika 4.1. Pozicioniranje senzora magnetske indukcije*

#### **4.1. Nadzor zračnog raspora**

Nadzor (monitoringa) zračnog raspora temelji se na kapacitivnom senzoru plosnatog oblika. Koji se montira tako da se lijepi na statorski paket. Senzor se napaja naponom konstante frekvencije (455 kHz) pri čemu između senzora i površine pola teče kapacitivna struja. Mjerenjem i obradom tog signala struje dobiva se izlazni signal koji je proporcionalan zračnom rasporu generatora. Signal se uz uporabu programa na računalu obrađuje i koristi se za grafički prikaz zračnog raspora kako bi dobili stanje generatora. Struktura sustava monitoringa zračnog raspora je otvorenog tipa tako da se u svrhu dijagnostičke analize stanja, signal zračnog raspora može prenositi u druge nadzorne sustave. Naprimjer, monitoring zračnog raspora u dijagnostičkoj analizi kombinira se s monitoringom magnetske indukcije u zračnom rasporu.

Broj senzora ovisi o veličini provrta generatora. Ugrađuju se 4 senzora ako je promjer generatora manji od 7.5 m, 8 senzora za promjere između 7.5 i 12 m, a 12 do 16 senzora kod generatora čiji je promjer rotora veći od 12 m. Smatra se da je puno važnije nadzirati zračni raspor na gornjem dijelu statorskog paketa iz razloga zato što je donji dio statorskog paketa bolje učvršćen, ali i zbog položaja donjeg vodećeg ležaja. Osim o dijametru, broj senzora ovisi i o visini statorskog paketa. Za visine veće od 1.8 m preporučuje se ugradnja u gornji ali i u donji dio statorskog paketa.

Sustav za monitoring zračnog raspora ima sljedeća svojstva:

- Senzori koji se tako da se lijepe na statorski paket na nikakav način ne utječu na rad generatora.
- Vrlo brza montaža senzora (1 dan) i pri tome nije potrebno vaditi rotor.
- Senzori su otporni na prljavštinu prašinom i uljem, imaju visoku točnost, opću namjenu i ne zahtijevaju nikakvo održavanje.
- Elektronički su uređaji izvan generatora, u slučaju kvara nije potrebno zaustavljati agregat.
- Visoka pouzdanost sustava se osigurava postavljanjem najmanje 4 senzora po agregatu.

Monitoring zračnog raspora predstavlja osnovu za dinamičku analizu strukture statora i rotora generatora. Sustav monitoring zračnog raspora omogućava korisniku:

- Mjerenje dinamičkog zračnog raspora između statora i rotora u svrhu ocjene stanja
- Mjerenje okruglosti statora i rotora
- Detekciju ekscentriteta

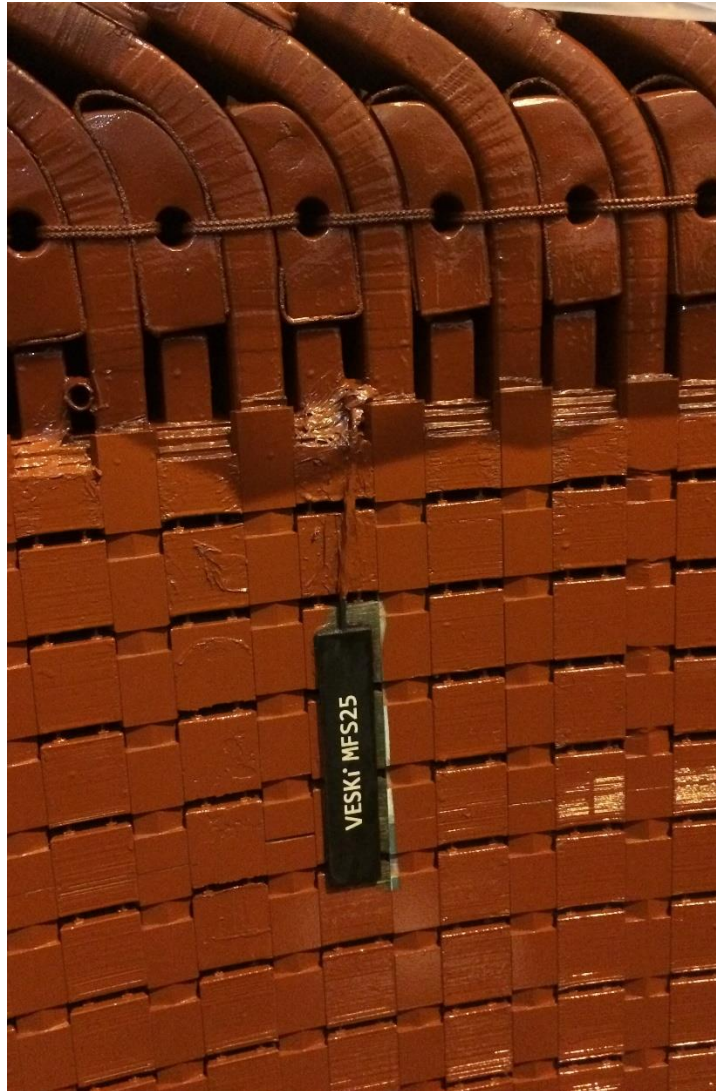
- Određivanje geometrijskog centra generatora

Mjerenje statičkog i dinamičkog zračnog rasporeda generatora omogućava nam izbjegavanje stanja koje bi moglo dovesti do kontakta i trenja rotora o stator generatora. Sustav omogućava da se izbjegne neuravnoteženost zračnog rasporeda i na taj način štiti generator, postoji mogućnost analize trendova koja je osnova za uvođenje “ održavanja temeljenog na stanju agregata“.

## **4.2. Senzor magnetske indukcije**

Senzor magnetske indukcije radi kao mjerni svitak, plosnatog je oblika i montira se tako da se zalijepi na statorski zub. Kada bi uspoređivali površinu statorskog zuba s površinom svitka, vidjeli bi da je površina svitka zanemariva. Pa je njegov ulančani tok koji se dobiva integracijom signala induciranog napona, proporcionalan magnetskoj indukciji na mjestu gdje je svitak montiran. Na taj način dobiva se signal indukcije u zračnom rasporu kao izmjenična funkcija kojoj je frekvencija jednaka frekvenciji vrtnje rotora.

Mjerni davač koji se instalirao u RHE Velebit, na statorskom zubu generatora proizvela ga je domaća tvrtka, sa serijskim brojem MFS25. Što je vidljivo na *slika 4.2*.



*Slika 4.2.1. Prikaz senzora, smještenog na zubu statora*

Postoji još jedan postupak za montiranje stanja uzbudnog namota koji se temelji na detekciji parnih harmonika u signalu mjernog svitak, on se pojavljuje kada dođe do kratkog spoja među zavojima jednog pola.

Signal iz senzora magnetske indukcije ide na ulaz jedinice za pripremu i obradu signala. Jedinica ima dva izlaza: jedan je naponski, koji daje valni oblik indukcije, dok je drugi strujni koji daje apsolutni iznos maksimalne indukcije pod svakim polom. Izlazi se spajaju na akvizicijsku jedinicu koja se spojena s računalom u kojem se obrađuje signal uz pomoć odgovarajuće programske podrške.

## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

Za mjerenje magnetskih indukcija polova koristimo:

- Mjerni davač magnetske indukcije MFS25
- Mjerno (kondiciono) pojačalo INT B

Mjerni davač magnetske indukcije polova MFS25 namijenjen je mjerenju magnetskih indukcija polova hidrogeneratora. MFS25 izveden je u obliku pločice, a montira se tako da se lijepi na stator hidrogeneratora. Tako da nema potrebe demontaže rotora ili polova. Mjerni davač je otporan na vibracije, temperaturu i onečišćenja.

Tip davača / prilagodnog pojačala	MFS25 / INT B
Mjerni opseg	$\pm 2.5$ T (50 Hz)
Radna temperatura	0 ... 125 °C
Linearnost	<3%
Ponovljivost	$\pm 0.3\%$
Izlaz	$\pm 5$ V
Frekvencijsko područje	0 ... 10 kHz
Dimenzije	153 x 31 x 4 mm

*Tablica 4.1. Tehničke karakteristike mjernog davača*

Davač mora ispuniti sljedeće uvjete kako bi sigurno mogao predati signal na jedinicu za obradu:

- Mora imati povoljan odnos signal/šum
- Ne smije biti osjetljiv na okolinu
- U slučaju mijenjanja okoline ne smije gubiti svoju karakteristiku
- Izlazni signal mora biti dovoljne snage da uz minimalne prigušenja stigne do jedinice za obradu signala
- Kabeli koji povezuju mjerni davač i jedinicu za obradu signala mora biti zaštićen od vanjskih utjecaja
- Davač mora zadovoljiti amplitudno-frekvencijsku karakteristiku kako bi mogao pretvarati jednu fizikalnu veličinu u drugu

Kako nam magnetska indukcija ne ovisi samo o magnetomotornoj sili nego i o zračnom rasporu. Radi toga je potrebno napraviti odgovarajuću usporedbu između zračnog raspora i indukcije pod svakim polom. Jedino na taj način možemo odrediti jel do promjene u indukciji došlo zbog kratkog spoja između zavojnica uzbudnog namota ili zbog promjene zračnog raspora. Zbog toga senzor magnetske indukcije i senzor zračnog raspora montiramo na susjedne zube statorskog paketa, ali senzor magnetske indukcije pomičemo za jedan zub u smjeru nailaska pola.

Jedan od specifičnijih načina dijagnostičke obrade signala magnetske indukcije u zračnom rasporu nudi domaća firma iz Zagreb. Kao referentnu veličinu za osnovu stanja uzima se razlika amplituda osnovnih harmonika indukcije dvaju polova od kojih jedan ima najveću, a drugi najmanju vrijednost indukcije između svih polova generatora. Tako postižu potpunu neosjetljivost dijagnostičkog postupka na promjene pogonskog stanja generatora, a da se postupak zasnivao na samoj usporedbi amplitude magnetske indukcije ispod susjednih polova, postupak ne bi bio moguć. Nastankom kratkog spoja među zavojnicama jednog pola magnetska indukcija se smanjuje. Tako kada dođe do kratkog spoja među zavojnicama, pri prolasku pola pored senzora, senzor registrira smanjenje indukcije toga pola, gdje se vidi povećana razlika između najveće i najmanje indukcije u usporedbi s referencom.

U svrhu trendiranja i analize magnetske indukcije pod polovima generatora, u sustavu monitoringa signali se snimaju non-stop i spremaju u bazu podataka na našem kompjuteru. Kako bi u bilo kojem trenutku mogli dobiti informacije o vremenskim promjenama tih veličina.



## 5. DETEKCIJA KRATKOG SPOJA NAMOTA ROTORA

Najčešći kvar koji se može dogoditi na hidrogenatorima je kratki spoj uzbudnog namota. Do kratkog spoja dođe tako što se dogodi kvar na izolaciji namota između pojedinih zavoja. Kako s vremenom oprema stari i oštećuje se u ovom slučaju pričamo o dotrajalosti izolacije između zavoja, radi toga ovakvi slučajevi poput kratkih spojeva postaju češći. Kontrola izolacijskog sustava uzbudnog namota se vrši tokom njezine proizvodnje, pri puštanju u pogon, kod remonta ili popravaka. Najveće sile i naprezanja koje djeluju na izolacijski sustav događaju se prilikom zaleta i pogona jer tada su vrijednosti dinamičkih i statičkih sila, termičke sile i naprezanja izolacije puno veća. Gore navedeni utjecaji ubrzavaju starenje opreme i zbog tih utjecaja izolacijski sustav stari puno brže od ostalih dijelova hidrogenatora.



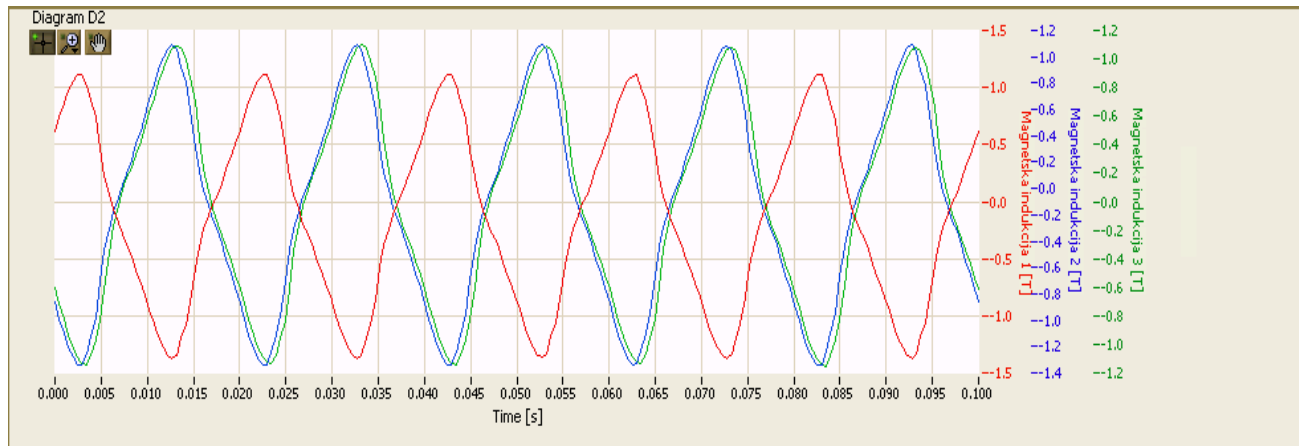
*Slika 5.1. Prikaz zavoja u namotu rotora*

Dodatan utjecaj na starenje izolacije stvara vlaga, prašina, rashladni mediji te ulje koji dodatno prlja namote i smanjuju izolacijski nivo prema masi i među zavojima. Što u konačnici uzrokuje smanjenje izolacije i povećava mogućnost da dođe do kratkog spoja u međuzavoju namota. Utjecaji kratkog spoja na rad generatora može biti različit. Od toga da nema nikakvog utjecaja pa do pojave jako velikih vibracija, velikih radnih temperatura, opterećenja i čak do prisilnog zaustavljanja. Izraženost kratkog spoja ovisi o mjestu i o broju zavoja koji su uključeni u taj kratki spoj. Najbolji način za detekciju međuzavojnog kratkog spoja rotorskog namota je mjerenje valnih oblika magnetskog polja u zračnom rasporu. Jer pri nastanku kratkog spoja u međuzavojima namota dolazi do neuravnoteženosti i može doći do povećanih vibracija i većih uzbudnih struja za svako pogonsko stanje. Uz to sve mogući su i međuzavojni kratki spojevi koji se događaju u različitim svicima istog pola, ali uz to može doći i do proboja prema masi kao posljedica temperaturnog djelovanja na mjestu međuzavojnog kratkog spoja.

### **5.1. Izgled valnog oblika kod magnetske indukcije**

Ako uzmemo za primjer RHE Velebit, kao što smo rekli gore u tekstu. Ona ima tri načina rada. A to su: generatorski rad, crpni radi i sinkrona kompenzacija. Kako bi mogli bolje razumjeti potrebno je znati da je crpni rad – princip rada koji nam služi da preko noći kad je potrošnja manja, vodu iz donjeg jezera pumpamo u gornje umjetno jezero. Kako bi pri većoj potrošnji mogli iskoristiti veću količinu vode. Kod sinkrone kompenzacije bitno je znati da se ovaj način radi za opskrbljivanjem sustava jalovom energijom. I zadnji koji je ostao je generatorski način rada, a u tom načinu stoj pretvara elektromehaničku energiju u električnu struju. Za snimanje magnetske indukcije potrebno je instalirati dva senzora na generator, koji su u razmaku za polni korak.





*Slika 5.1.1. Prikaz magnetske indukcije RHE Velebit*

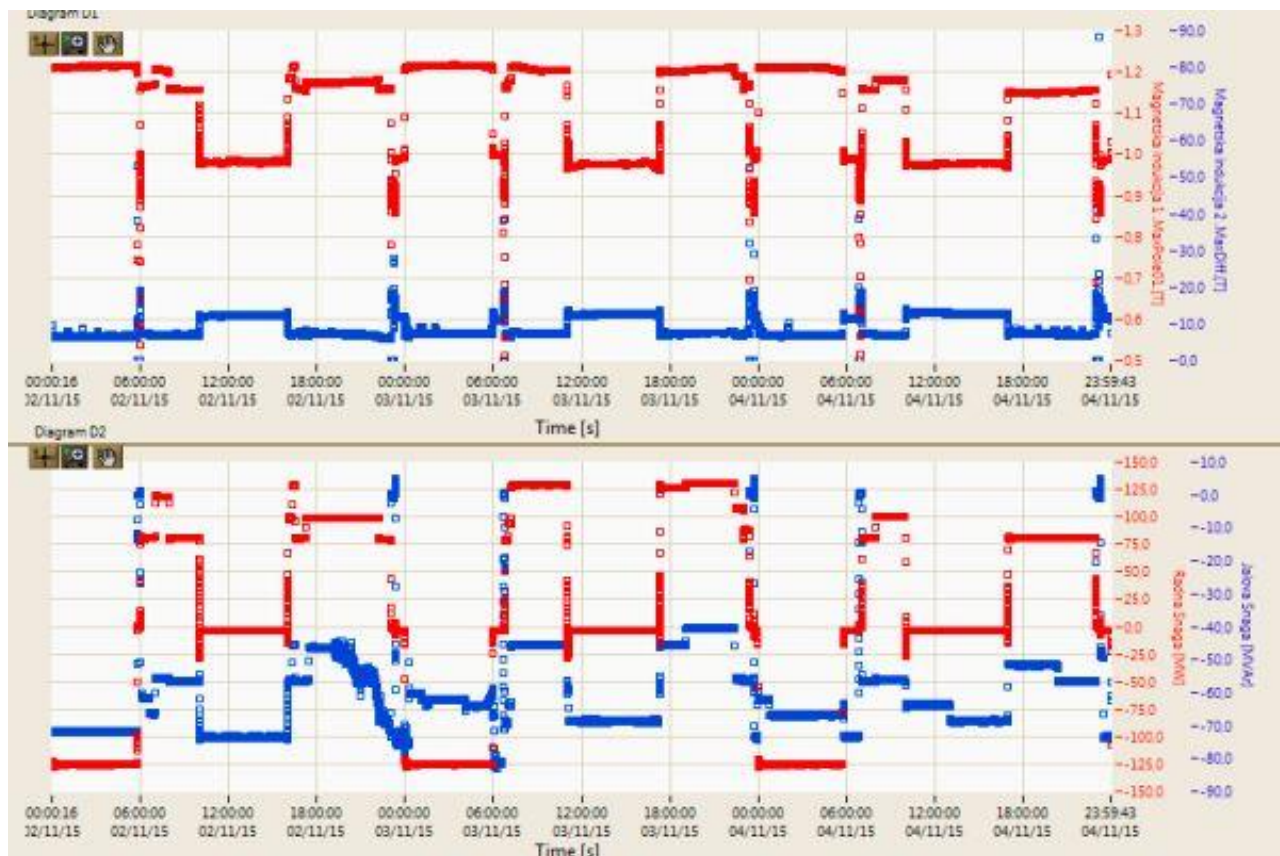
Na *slika 5.1.1.* je prikazano stvarno stanje s generatora koje smo snimili i pohranili u bazu podataka. CoDiS aplikacija sadrži podatke sa strojeva u radu. Gdje je vidljivo da graf sadrži tri mjerna davača označeni crvenom, plavom i zelenom bojom. Plavom bojom označen MX1 signal (s prvog davača). Zelenom bojom označen je signal MX2 (s drugoga davača) koji je za polni zub pomaknut od MX1. A crvenom bojom označen signal s MX3. Još od prije znamo da su signali MX1 i MX2 u protufazi jer u međusobno udaljeni za polni korak, a trigger nam za jedan okret stroja daje jedan impuls

Iz toga znamo da se između dva Trigger signala nalaze vrijednosti magnetske indukcije za svaki pojedini pol. Kako nam se mjerni davači nalaze na zubovima statora, svakim prolaskom istaknutog pola pored mjernog davača dobivamo poluperiodu sinusnog signala magnetske indukcije. Na grafu je vidljivo da najveće vrijednosti variraju između 1 – 1.2 T, a nastaju tako da okomito prođu u odnosu na senzor.

Polove brojimo tako da o prolaska Triggera sljedeća pozitivna vršna vrijednost koja nastane odnosno koja zaostaje 1ms označava nam MX2. A signal MX1 nam je označen plavom bojom prva vršna vrijednost nakon prolaska Triggera. Dok svaki sljedeći prate redoslijed. Ako nam se dogodi slučaj kao na *slici 5.1.1.* da je prva vršna vrijednost negativna, znamo da je to pol 10 koji se u vremenskoj zoni poklapa s vrijednošću pola broja 1 signala magnetske indukcije MX2. tvori nam rezultati koji nam govori o direktnom pozicioniranju mjernih davača.

Snimanje na način da svaku točku prikažemo s jednom sekundom razmaka ili u slučaju ako se radi o stacionarnom režimu rada stroja onda prikazivanje se radi svakih 30 sekundi. Takvo snimanje nazivamo trendovima. Na grafu trendova *slika 5.1.2.* vidimo podjelu na dva grafa u jednakom vremenskom periodu u trajanju od 3 dana, gdje vidimo rad RHE Velebit u tom vremenskom period. Na gornjem grafu vidljivi su trendovi magnetske indukcije. Dok nam donji graf pokazuje odnose između jalove i radne snage i na tom odnosu možemo zaključiti u kojem režimu rada radi taj stroj. Tako možemo vidjeti da nam je crvenom bojom na grafu označena radna snaga [MW], a plava jalovu snagu koja nam je u [MVar]. Ako gledamo rad stroja kroz cijeli jedan dan možemo uvidjeti da u različitim dijelovima dana stroj radi u različitim režimima rada. Tako ujutro i navečer radi kao generator jer je tad najveća potrošnja električne energije, noću u crpnom režimu kada puni gornje umjetno jezero vodom, a ostatak dana kao sinkroni kompenzator. CoDiS aplikacija nam omogućava izbornik u kojem možemo odabrati pol koji želimo pratiti. Ako uspoređujemo ova dva grafa možemo vidjeti jako velike sličnosti u radu između generatorskog i crpnog, a to vidimo jer im je magnetska indukcija skoro istog iznosa. Jedinu razliku magnetske indukcije vidimo u sinkrono kompenzacijskom režimu rada gdje je ona za oko 20% niža.

## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA



Slika 5.1.2. Prika trendova RHE Velebit

Prilikom korištenja aplikacije CoDiS imamo veći izbor prikaza podataka. Na ovom primjeru koristili smo *Waveforms* u kojem smo odabrali valne oblike za brzinu vrtnje ( koja nam predstavlja trigger ), za magnetsku indukciju 1 i magnetsku indukciju 2. U CoDiS aplikaciji odabiremo graf u koji ćemo uključiti odabrane valne oblike (gore navedene), a obrada će se odvijati u LabView okruženju.

# MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

CoDiS Client

VESKI CoDiS  
Computerized Diagnostic System  
Database

Select unit: Unit 1

TRENDS RUN UP/COAST DOWN WAVEFORMS SAVE STATE

Waveform selection:

Sensors

- Procesni parametri
- Zracni raspod
- Magnetska Indukcija
  - Magnetska indukcija 1 [T]
  - Magnetska indukcija 2 [T]
  - Magnetska indukcija 3 [T]
- Relativne vibracije
- Apsolutne vibracije
- Apsolutne vibracije - glave namota
- Naponi
- Struje

Dates:

Start: 22.10.2014. End: 07.09.2022.

Events filter::

Absolute Timestamp?  Waveform Events

Saved States (STATE)  PRE-ALARM  ALARM

Diagnostic ALARM  PRE-TRIP  TRIP

Waveforms - events:

Timestamp	Waveform Description	Operating Regime
18:01:20 11.08.2022	ALARM on AV - GN 1 .RMS.[mm/s];	GENERATOR
19:01:33 12.08.2022	ALARM on AV - GN 1 .RMS.[mm/s];	GENERATOR
18:24:45 17.08.2022	ALARM on AV - GN 1 .RMS.[mm/s];	GENERATOR
19:03:46 18.08.2022	ALARM on AV - GN 1 .RMS.[mm/s];	GENERATOR
18:30:35 26.08.2022	ALARM on AV - GN 1 .RMS.[mm/s];	GENERATOR
02:00:17 28.08.2022	ALARM on AV - GN 1 .RMS.[mm/s];	UNKNOWN
02:02:41 28.08.2022	ALARM on AV - GN 1 .RMS.[mm/s];	UNKNOWN

NOTE: When SPECTRUM is selected, it is possible to choose multiple events.

Waveforms - diagrams:

Waveforms Post Processing

Diagram 1 - select up to 4 waveforms

NOTE: Use right click for fast selection

DELETE SELECTION

Diagram 2 - select up to 4 waveforms

Magnetska indukcija 1 [T]  
Magnetska indukcija 2 [T]  
Magnetska indukcija 3 [T]

NOTE: Use right click for fast selection

DELETE SELECTION

Spectar:

Diagram - select up to 4 waveforms

NOTE: Use right click for fast selection

DELETE SELECTION

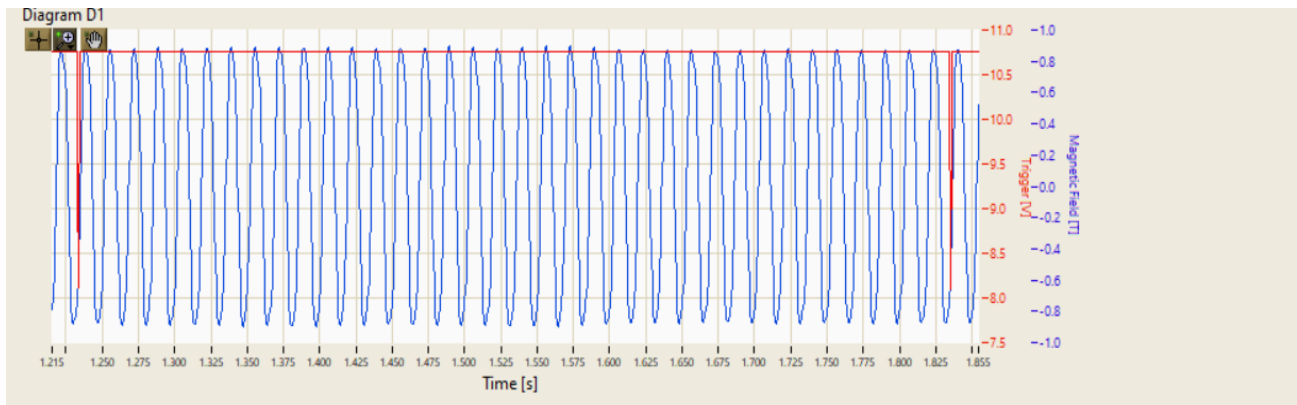
>> WAVEFORMS >> SPECTRUM >> ORBITS >> AIR GAP, MAGNETIC FIELD >> TO DIAGRAM

Version: 16:13:11 06.09.2022

Slika 5.1.3. Prikaz izbornika u CoDiS aplikaciji

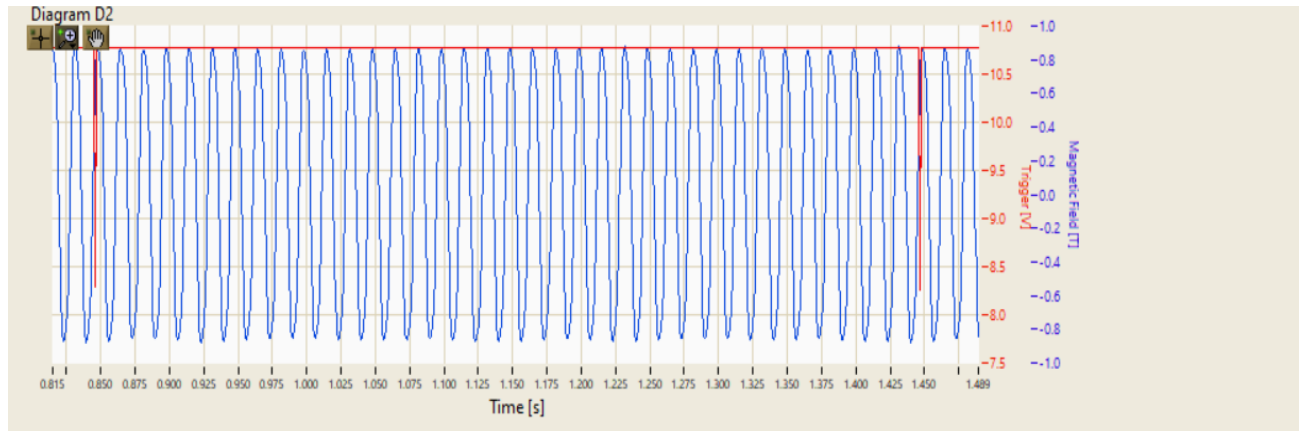
## 6. METODA MAKSIMALNE RAZLIKE AMPLITUDA MAGNETSKE INDUKCIJE SUSJEDNIH POLOVA

MXDiff je metoda maksimalne razlike amplituda magnetske indukcije susjednih polova (engl. MXDiff, i u daljnjem tekstu koristimo oznaku MXDiff) koristi jedan mjerni davač pri dijagnostici. U jednom okretaju rotora mjerni davači generiraju razlike amplitude između najvećih i najmanjih vrijednosti magnetske indukcije. To je razlog zašto se uzima razlika iz susjednih polova između kojih vibracije ne prave tolike razlike. Dijagnostika se vrši tako da amplituda magnetske indukcije pojedinog pola uspoređuje se sa susjednim polom. Ako dođe do kratkog spoja među zavojima jednog pola, u trenutku prolaska pored senzora, senzor registrira smanjenje u indukciji kod promatranog pola, što dovodi do povećanja razlike između najveće i najmanje indukcije ako uspoređujemo s referentnom vrijednosti. Metoda koje je dosta slična DMMP (metoda diferencijalnog mjerenja magnetskog polja) princip je gotovo pa i jednaka, razlika je ta da u DMMP metodi vrijednosti magnetske indukcije prikuplja se s dva mjerna davača. O čemu ćemo kasnije reći nešto više.



*Slika 6.1. Prikaz magnetske indukcije*

Obrada signala se izvršava u programu LabVIEW. Vrijednosti magnetske indukcije računa se u potprogramu Calculations.vi i vrijednost se računa za svaki okret stroja( u poglavlju 9 ćemo detaljnije objasniti sami postupak). Kao što smo prije rekli metoda MXDiff je metoda maksimalne razlike amplituda magnetske indukcije između susjednih polova, a obrada signala se vrši programski. Kao što je vidljivo na *slici 6.2*.

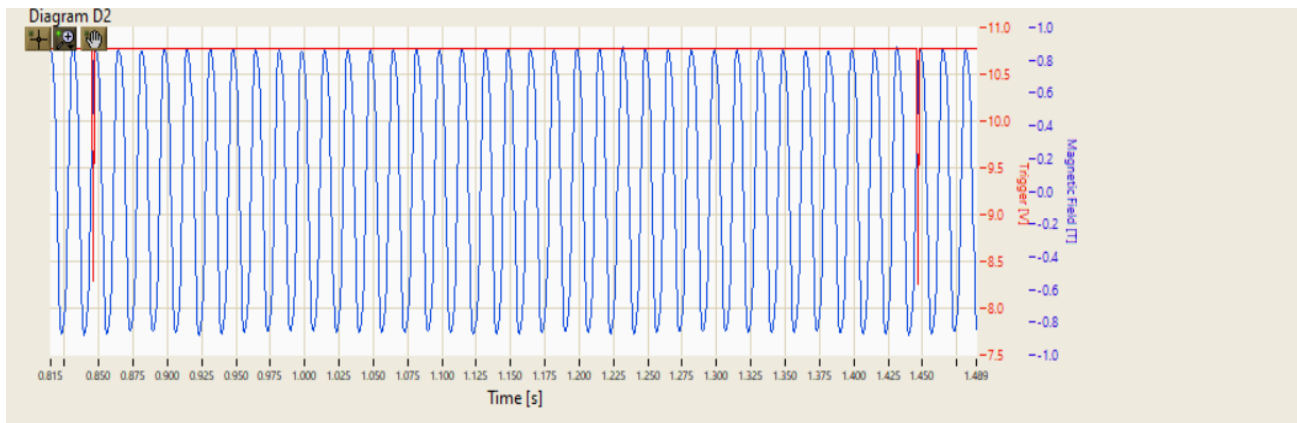


*Slika 6.2. Prikaz pravilnog rada stroja*

Na *Slika 6.2.* plavom bojom nam je označeno magnetsko polje, a crvenom bojom Trigger. Vidimo da postoje male oscilacije u vrijednostima magnetskog polja [T]. Razlog tim malim oscilacijama može biti zbog nesavršenog oblika rotora, a to je posljedica same izrade. Možemo primijetiti da imamo 36 polova, koji izgledaju poprilično sinusoidalni. Ako dobijemo valne oblike koji su više špicasti i bježe one pravilne sinusoide. Razlog može biti u izgledu polova, ako polovi nisu zaobljeni na grafu ćemo dobiti špicave. Što su bolje zaobljeni dolazimo bliže sinusoidalnom izgledu. Generator radi pravilno i na grafu ne vidimo nikakve promjene u radu ili neke kvarove. Iz grafa možemo očitati da je srednja vrijednost magnetske indukcije oko 0.9T.

## 7. METODA DIFERENCIJALNOG MJERENJA MAGNETSKOG POLJA

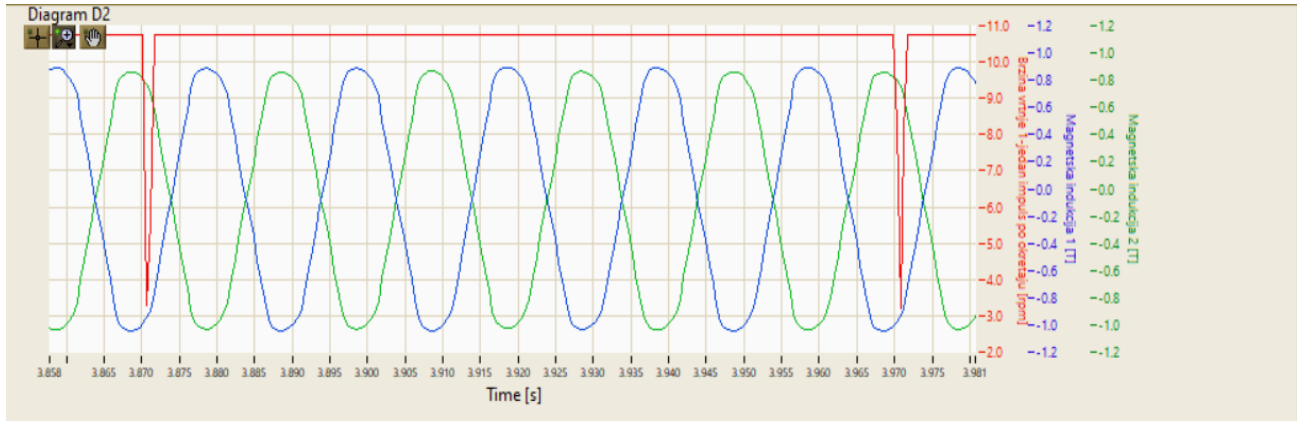
(engl. DMMP) je skraćenica od metoda diferencijalnog mjerenja magnetskog polja. DMMP metoda nam služi kako bi mogli detektirati kratki spoj u međuzavojima na polovima rotora. Da bi detekcija bila moguća potrebna su nam dva mjerna svitka smještena u zračnom rasporu. Raspored mjernih davača je takav da je svaki smješten na jedan zub statora, dok je razmak za polni korak. Zbog čega je ova metoda dobra ili efikasna? Upravo zbog toga što se u istom trenutku uspoređuju vrijednosti magnetske indukcije na susjednim polovima. Ako prije toga znamo da nam je signal magnetske indukcije približno sinusoidalnog oblika.



*Slika 7.1. HE Smith Mountain – signal magnetskog polja u zračnom rasporu*

Kako bi metoda DMMP bila točna i pouzdana potrebno je pravilno pozicionirati drugog mjernog davača na obodu statora. Dok je prvi mjerni svitak postavlja proizvoljno, drugi mjerni svitak je potrebno postaviti na zub statora koji po svom apsolutnom iznosu ima jednak vektorski magnetski potencijal kao i zub statora na kojem je postavljen prvi mjerni svitak. A udaljenost između dva mjerna svitka iskazujemo kao  $n \cdot \tau_p$ , gdje je  $\tau_p$  polni korak, a  $n=1,2,3,4,5,\dots$  njegov višekratnik.

RHE Velebit sadrži monitoring sustav koji je instaliran na principu da je udaljenost između pojedinih mjernih svitaka točno za polni korak. A takav način fiksiranja mjernih svitaka u tom razmaku omogućava nam da dobijemo valni oblik magnetske indukcije točno na presjeku poluperiode susjednih polova u vremenskoj domeni.



*Slika 7.2. RHE Velebit – Valni oblici magnetske indukcije, vidljivo je da se podaci prikupljaju s dva mjerna davača*

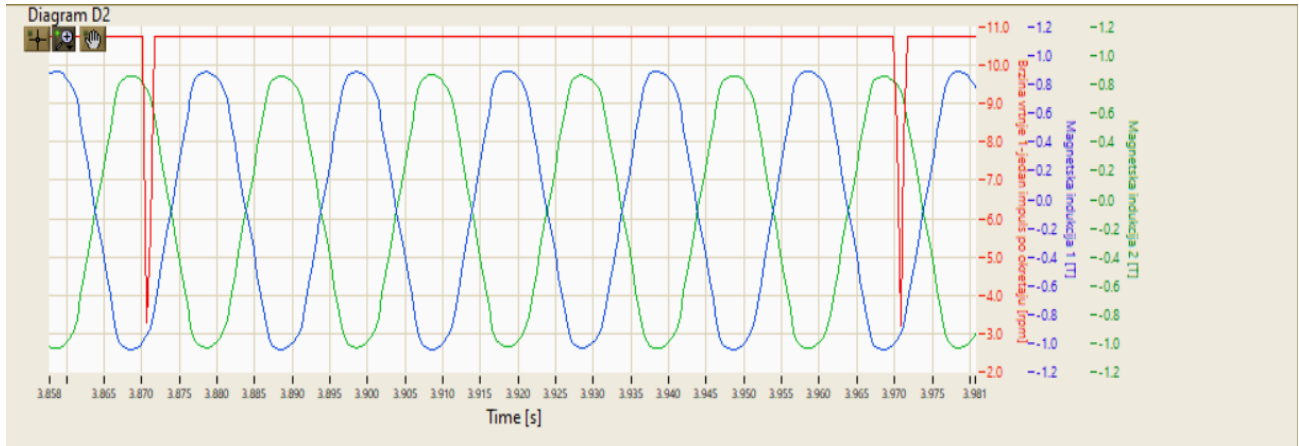
### **7.1. Analiza podataka**

Analiza podataka se vrši na dva načina, a to je analogno i digitalno.

Digitalan način obrade podataka pruža korisniku puno više mogućnosti pri analizi. Analogan serijski spoj mjernih svitaka je ekvivalentan digitalnom zbroju vrijednosti magnetske indukcije u jednakom vremenskom trenutku. Uz pomoć LabVIEW možemo provesti obradu signala, uz fazni pomak signala, povećanje amplitude vrijednosti, zbroj i oduzimanje vrijednosti itd.

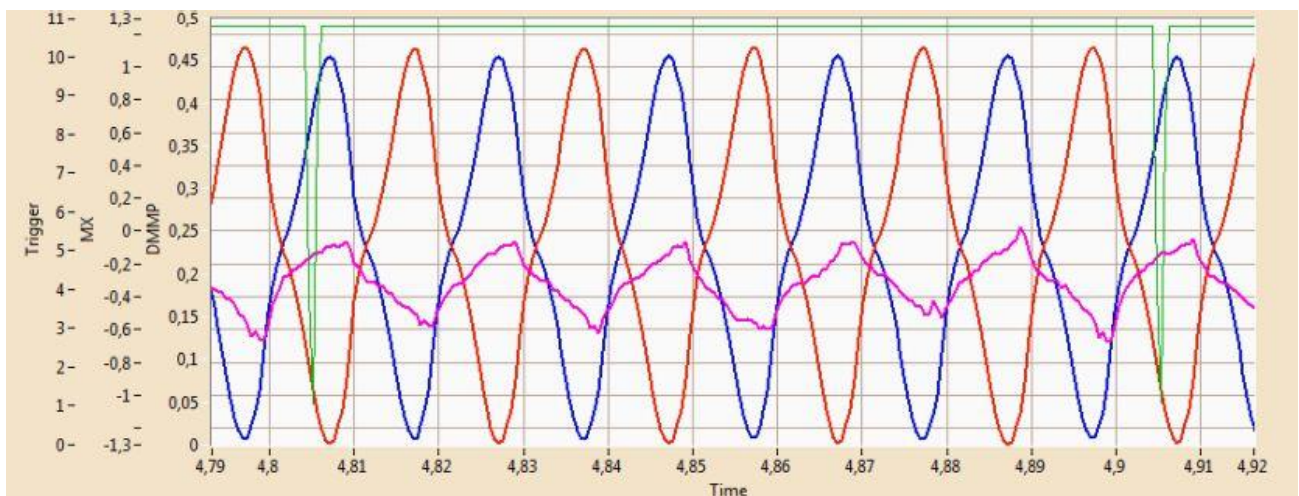
Analogni način uključuje spajanje mjernih svitaka u seriju. Kod serijskog spajanja svitaka dolazi do zbrajanja prikupljenih vrijednosti. Protufaznost senzora omogućuje da se iz mjerne veličine uklanja magnetsko polje prisutno u ispravnom stroju bez oštećenja namota. Tada mjerne veličine ovise samo o magnetskom polju koje su uzrok oštećenja namota rotora. Prednost ove metode je ta što detektira oštećenja na namotu bez detaljnih analiza mjernih podataka, a opet nije osjetljiv na promjene kod opterećenja i vrstu kojom se motor napaja.





*Slika 7.1.1. RHE Velebit*

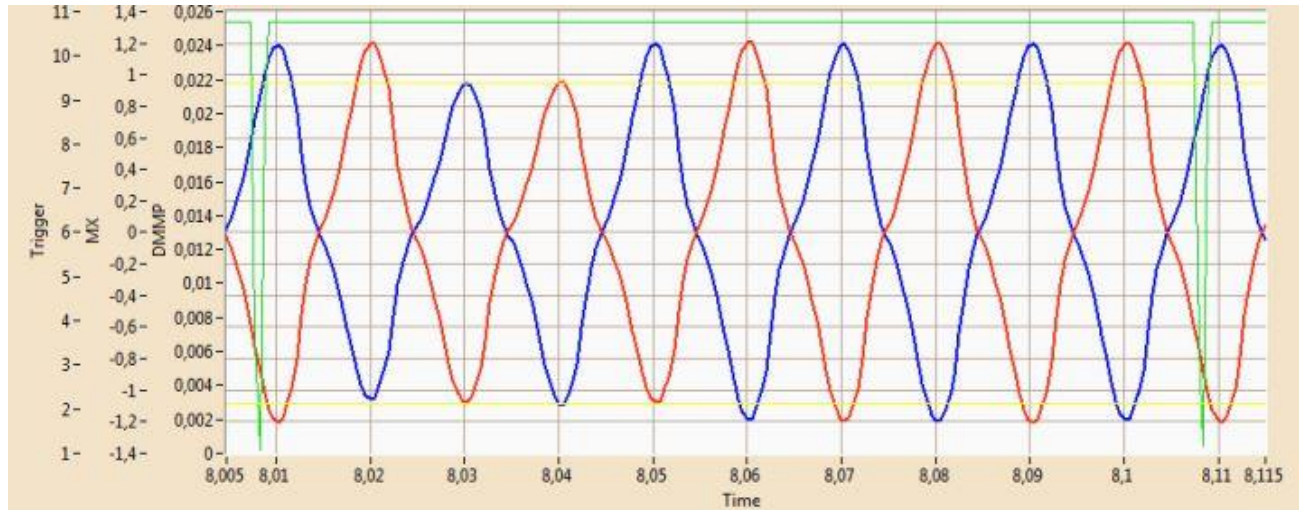
Na *slika 7.1.1.* vidimo da generator imamo 5 pari polova, koji su u polnom razmaku. To vidimo po valnim oblicima koji nam se nalaze između jednog okretaja (triggera) označena na grafu crvenom bojom. Dva mjerna davača su postavljena u razmaku za polni korak. Plavom bojom je označen signal MX1, a zelenom bojom signal MX2. Iz grafa je vidljivo da nam se signali s mjernih davača sijeku u nuli y-osi. Što nam ukazuje da smo mjerne davače dobro instalirali i podesili. U slučaju da nisu, morali bi u samom programu množiti signal koji nam stvara problem, kako bi izjednačili amplitudne vrijednosti. Što je vidljivo na *Slika 7.1.2.*



*Slika 7.1.2. Nepravilno instalirani mjerni davači*

## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

Na slici 7.1.2. vidimo da se signali s mjernih davača MX1 i MX2 ne sijeku u nuli y-osi i shodno tome pozitivna vrijednost amplitude je manja nego negativna vrijednost. Dok nam je ljubičastom bojom označen zbroj signala MX1 i MX2. Što nam pokazuje nepravilno instaliranje mjernih davača, u pravilnom radu zbroj signala MX1 i MX2 trebala bi iznositi 0. I na grafu bi dobili ljubičastu liniju koja ide po x-osi s vrijednosti 0.



*Slika 7.1.3. Prikaz kratkog spoja na polu broj 3*

Na slika 7.1.3. vidimo plavom i crvenom bojom označene signale s MX1 i MX2 (signali s mjernih davača). Zelenom bojom je označen trigger. Simulirali smo krtatki spoj međuzavojima na polu broj tri, što je vodljivo s oba mjerna davača. Pri kratkom spoju dolazi do smanjenja amplitude magnetske indukcije.

## **8. USPOREDBA MXDiff i DMMP METODE**

Metoda MXDiff i DMMP pokazale su se uspješne pri detekciji međuzavojnog kratkog spoja. Važnost ovih metoda je ta da u ranom stadiju prepoznaju mogućnost dolaska do kvara na rotacijskom stroju i omogućće korisniku sprječavanje većih kvarova.

Što se tiče opreme razlika je samo u broju mjernih davača. MXDiff metoda zahtjeva jedan mjerni davač dok DMMP metoda zahtjeva dva mjerna davača. Po pitanju ugradnje, dodatni davač ne stvara probleme i ne komplicira stanje, veća je problematika oko podešavanja dodatnog davača kako bi dodatni senzor dao jednake rezultate.

Uvjeti koje dva mjerni davači moraju ispuniti kako bi dobili kvalitetne rezultate:

- **Jednakost senzora**

Senzori imaju jednaku amplitudu i faznu karakteristiku. Senzori moraju zadovoljavati uvjet da pod jednakom pobudom daju jednaki odziv.

- **Jednake vibracije rotora i statora**

Odnos u vibraciji rotora i statora u različitim smjerovima kao rezultat daju različite vrijednosti zračnog raspora između senzora i rotorskog pola. Ono što od prije znamo, a to je da je zračni raspor direktno povezan s vrijednošću magnetske indukcije što dovodi do njezinog odstupanja u rezultatima.

- **Ispravno pozicioniranje**

Udaljenost između dva montirana senzora mora biti jednaka višekratniku polnog koraka  $\tau_p$ . Jer svako odstupanje predstavlja fazni pomak koji će utjecati na rezultat.

- **Izvedba rotora i statora**

Kružno simetrična geometrija rotora i statora osigurava jednakost sila unutar sustava. U slučaju da postoji nepreklapanje osi rotora i statora moguća je pojava UMP (engl. unbalanced magnetic pull) – statičke sile koja povlači rotor u smjeru svog djelovanja. Pojava magnetske neuravnoteženosti je moguća u slučaju ako dođe do kratkog spoja na jednom ili više zavoja ili ako je rotor nepravilnog oblika.

Rezultati se obrađuju digitalno. Kako se tehnologija razvija tako je i digitalizacija postala jedan od neizostavnih segmenata dijagnostičkih i mjernih sustava. Ako metoda DMMP ispunjava gore navedene uvjete, ona može davati pravilne rezultate koristeći analognu obradu. Ako gledamo digitalan način rada, metoda MXDiff je manje zahtjevna za isprogramirati u programskom okruženju Labview-a ili koristeći neki drugi softwer.

Kada su u pitanju detektiranja manjih promjena ipak veću prednost ima MXDiff metoda jer ima veću osjetljivost. MXDiff metoda je puno uspješnija u detektiranju međuzavojnog kratkog spoja. Zašto? Upravo zbog toga što su odstupanja između susjednih polova u pravilnom stanju stroja minimalna. I

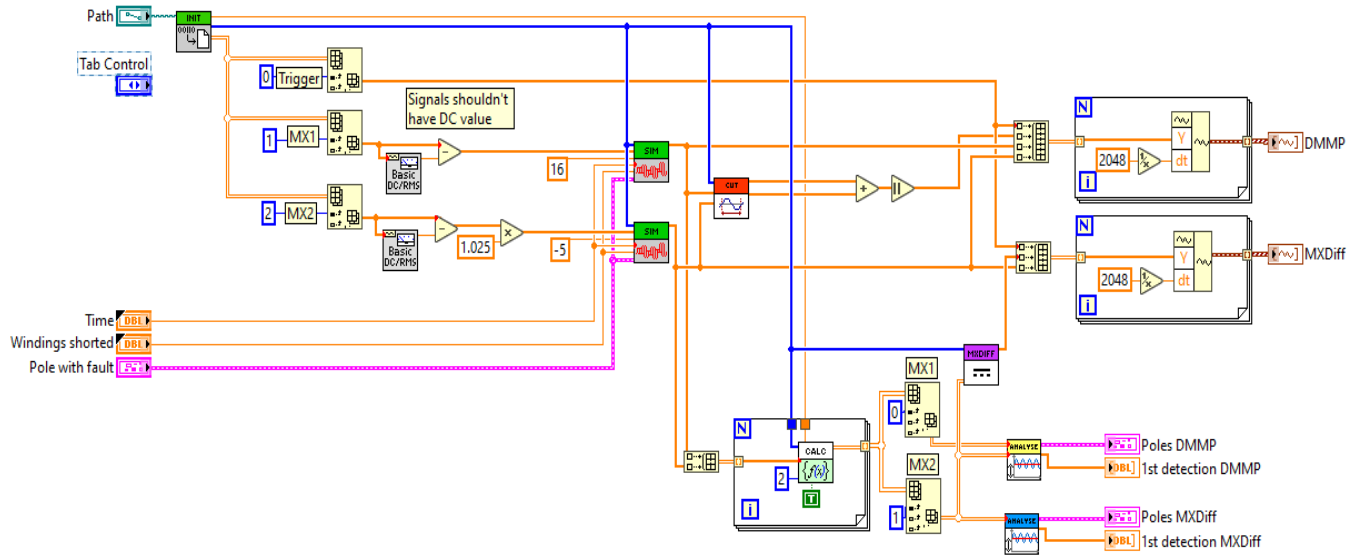
to je razlog zašto dolazi do velikog rasta vrijednosti odstupanja pri pojavi kratkog spoja. Kada gledamo DMMP metodu kod nje imamo veća odstupanja pri pravilnom radu stroja, ali ima veću apsolutnu vrijednost odstupanja kada dođe do kratkog spoja prije će javiti ili alarmirati korisnika nego MXDiff metoda.

	DMMP	MXDiff
Rana detekcija MZKS	Moguća	Moguća
Broj davača	2	1
Analogna obrada	Moguća	Nije moguća
Vanjski uvjeti	Utječu, zbog dva davača	Slabi utjecaj
Osjetljivost	Visoka pri apsolutnim vrijednostima pogreške	Visoka u odnosu na rad stroja u normalnim uvjetima
Invarijantnost na režim rada stroja	Da	Da

*Tablica 8.1. Usporedba DMMP i MXDiff metode*

## **9. APLIKACIJA ZA OBRADU SIGNALA MAGNETSKE INDUKCIJE**

Kada pričamo o obradi signala magnetske indukcije kao glavnu funkciju moramo spomenuti detekciju međuzavojnog kratkog spoja koja se temelji na valnim oblicima magnetske indukcije. Aplikacija za obradu signala je testirana na signalima s mjernih davača koji su postavljeni na RHE Velebit i Hydro Dam Smith Mountain uz pomoć obje metode (DMMP i MXDiff) uspješno je detektiran kratki spoj. Signal koji se obrađuje je bez prisutnosti kvara (kratko spoja među zavojima), u zasebnom potprogramu (VI-ju) unutar LabVIEW-a se simulira međuzavojni kratki spoj.



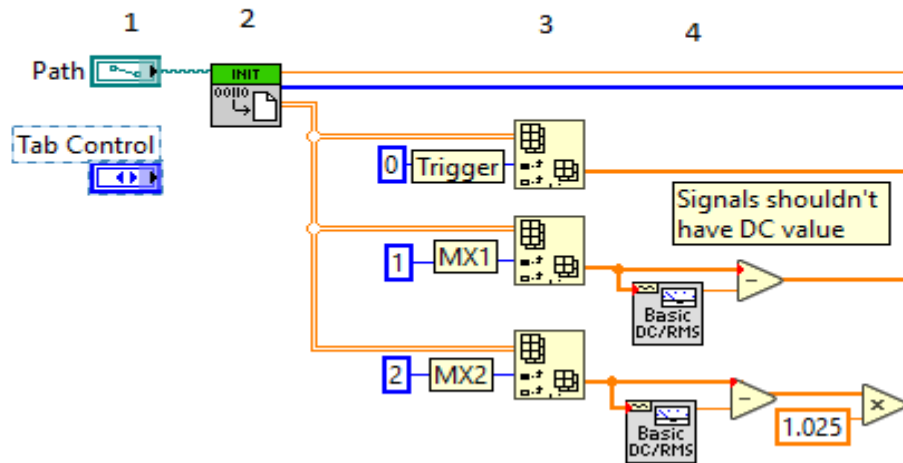
*Slika 9.1. Blok dijagram aplikacije za detekciju međuzavojnog kratkog spoja*

Kako bi lakše objasnili funkcionalnost programa, blok dijagram smo podijelili u četiri dijela:

- Inicijalizacija
- Simulacija
- Analiza
- Prikaz valnih oblika

### 9.1. Inicijalizacija

Inicijalizacija je sami početak programa. U nastavku će biti objašnjen svaki dio programa, a svaki potprogram objašnjen kodom unutar samog potprograma.

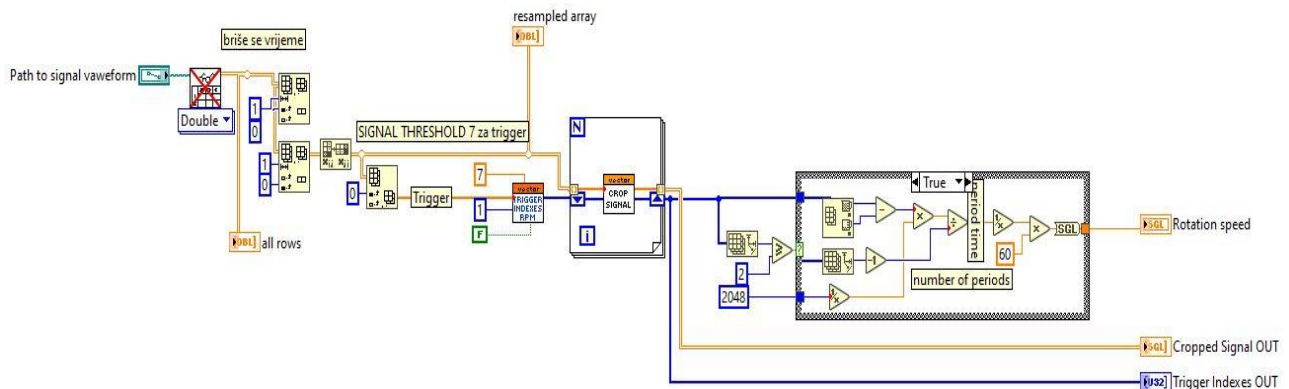


Slika 9.1.1. Prikaz koda za inicijalizaciju

Pa krenimo od početka. Pod brojem 1 imamo dvije varijable to su *Path* i *Tab Control*.

*Path* je varijabla u koju se upisuje lokacija datoteke koju želimo očitati. U slučaju da nije navedena, LabVIEW nam sam otvara prozor koji omogućava odabir lokacije. U ovom slučaju riječ je ASCII zapisana u vrijednosti signala koji nam dolaze s mjernih davača magnetske indukcije (MX1 i MX2). Dok je *Tab Control* varijabla koja mijenja vizualni prikaz metode detekcije međuzavojnog kratkog spoja u *Front Panelu*. Element koji je zaseban jer se njegove vrijednosti mijenjaju u *Front Panelu*.

Na broj 2 je početni subVI koji se izvršava prilikom protoka podataka.



*Slika 9.1.2. Inicijalizacija*

*Signal waveform* je varijabla u kojoj je spremljen ASCII kod koji u sebi sadrži valni oblik magnetske indukcije. Kako bi ga mogli iskoristiti, potrebno je taj signal pretvoriti u niz (array) uz pomoć potprograma *Read from spreadsheet file*. Iz niza se briše nul-redak i stupac koji sadrži timestamp budući da neće biti potreban u daljnjoj obradi podataka. Niz koji preostaje reprezentira se kao dvodimenzionalan niz podataka s jednom količinom podataka za MX1 i MX2 i Trigger signal. Frekvencija uzorkovanja podataka je 2048Hz, što nam u vremenskom periodu od 20s daje ukupno 40960 točaka koje tvore signal. Zatim nam kod ide do dva zasebna VI-ja koji indeksiraju Trigger i odsijecaju signal. *Indeksiranje Triggera* je niz čiji elementi sadrže vrijednosti točaka koje predstavljaju početni trenutak pojedine rotacije stroja. Crop signal se nalazi unutar for petlje. On nam odsijeca signal na početku i na kraju kako bi signal predstavljali početnu i krajnju točku okretaju u danom vremenskom periodu. Na izlazu se nalaze *Cropped Signal OUT*, *Trigger Indexes OUT* i *Rotation speed*. *Cropped Signal* je niz koji sadrži podatke o valnim oblicima magnetske indukcije i ujedno je u 2D. *Trigger Indexes* je 1D. Dok unutar Case structure računa se brzina vrtnje koja se prenosi putem varijable *Rotation speed*.

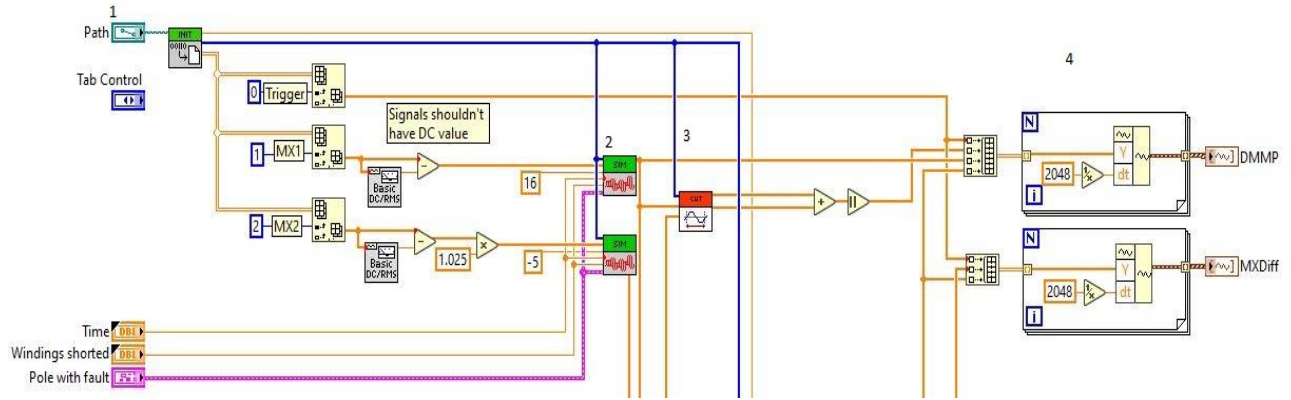
Broj 3 nalaze nam se Trigger Index koji se rastavlja iz 2D u tri 1D. Trigger je signal koji očitava rezultat jednom po okretu stroja. MX1 nam označava signal valnog oblika magnetske indukcije s mjernog svitka 1. MX2 je signal s mjernog svitka 2.

I na broju 4 se nalazi obrada signala magnetske indukcije. Na MX2 vidimo množenje s vrijednošću od 1,025 kako bi uskladili amplitudne vrijednosti indukcije na oba davača.

## **9.2. Simulacija**

Kao što i ime kaže simulacija je dio koda koji simulira međuzavojni kratki spoj na polovima rotora i generira valni oblik DMMP signala.

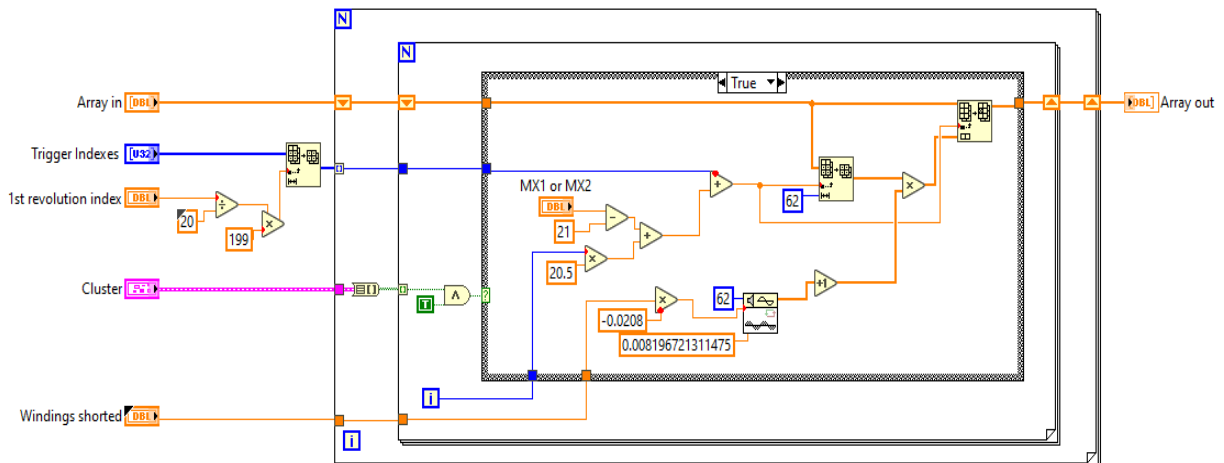




*Slika 9.2.1 Prikaz koda za simulaciju*

Slika 9.2.1. podijeljena je na 4 važna dijela. U 1. dijelu se nalaze ulazni terminali koji su spojeni na dva potprograma, a to su Simulation i SignalCut. Dok smo trigger indexes, MX1 i MX2 objasnili u prethodnom poglavlju. Dok ulazne kontrole poput Winding shorted, Pole with fault i Time korisnik samostalno podešava na Front Panelu. A konstante kao što su -5 i 16 početne točke prvog pola valnog oblika magnetske indukcije na MX1 i MX2 signalu. U 2. dijelu govorimo od potprogramu Simulation. Gdje se u svakom programu simulira kratki spoj sa jednog i drugog davača.

Program za simulaciju prikazan na *slika 9.2.2.*



*Slika 9.2.2. Simulacija*

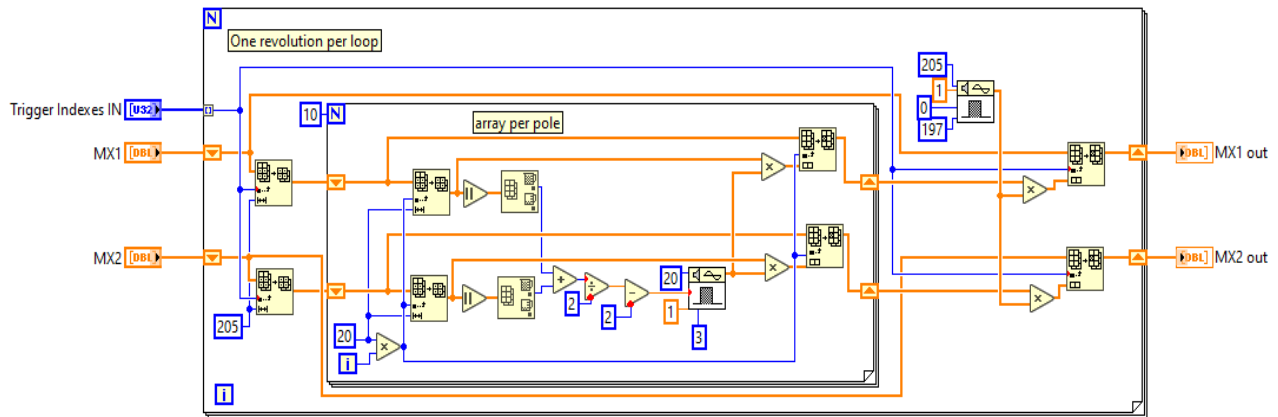
Možemo započeti od ulaznih terminala u ovom slučaju imamo ih 6, a to su: Array in, Trigger Indexes, 1st revolution index, Cluster, Windings shorted, MX1 ili MX2.

Pa možemo objasniti svaki od njih.

1. MX1 ili MX2 nam je broj točaka od nulte točke grafa do početne točke prvog pola za svaki od mjernih davača
2. Array in on nam predstavlja signal magnetske indukcije
3. Cluster on nam omogućava grupiranje više elemenata u jedan. Na ovom primjeru smo grupirati niz booleana koji nam predstavljaju svaki pojedini pol rotora.
4. Trigger Indexes to je 1D niz brojeva s indeksima okretaja
5. Windings shorted nam određuje amplitudu magnetske indukcije
6. 1st revolution index nam govori u kojem trenutku je došlo do kratkog spoja

Na *slici 9.2.2.* vidljivi su ulazni terminali koji nam služe za kontroliranje izobličenja sinusoidalnih valnih oblika kod magnetske indukcije. U daljnjem tekstu ćemo objasniti svaki od njih. Pa tako krećemo od prve *for* petlje koja prolazi kroz rotaciju stroja, druga *for* petlja nam služi za izvršavanje koda za svaki pol rotora. Funkcija *1st revolution* nam služi za kontroliranje pri kojem rednom broju je došlo do kratkog spoja. Pri simulaciji međuzavojnog kratkog spoja imamo mogućnost da možemo sami određivati na kojem polu želimo da dođe do kratkog spoja, ako se odlučimo na to onda će nam funkcija *Case Structure* prikazati preko stanje *True or False* jel na tom polu došlo ili nije do međuzavojnog kratkog spoja. Iz 1D niza koje smo dobili za vrijednost magnetske indukcije kroz funkciju *Array in*. Niz na kraju množimo sa sinusnom poluperiodom koja će biti smanjene amplitude a to ovisi koliko je skraćenih zavoja. Na izlazu nam se nalazi taj signal koji ide preko *Array out* funkcije van

U 3. djelu govorimo o potprogramu SignalCut koji dobiva signale od potprograma Simulation i filtrira signale tako da ostavlja one koji se nalaze u blizini maksimalne amplitude magnetske indukcije, a ostale briše.



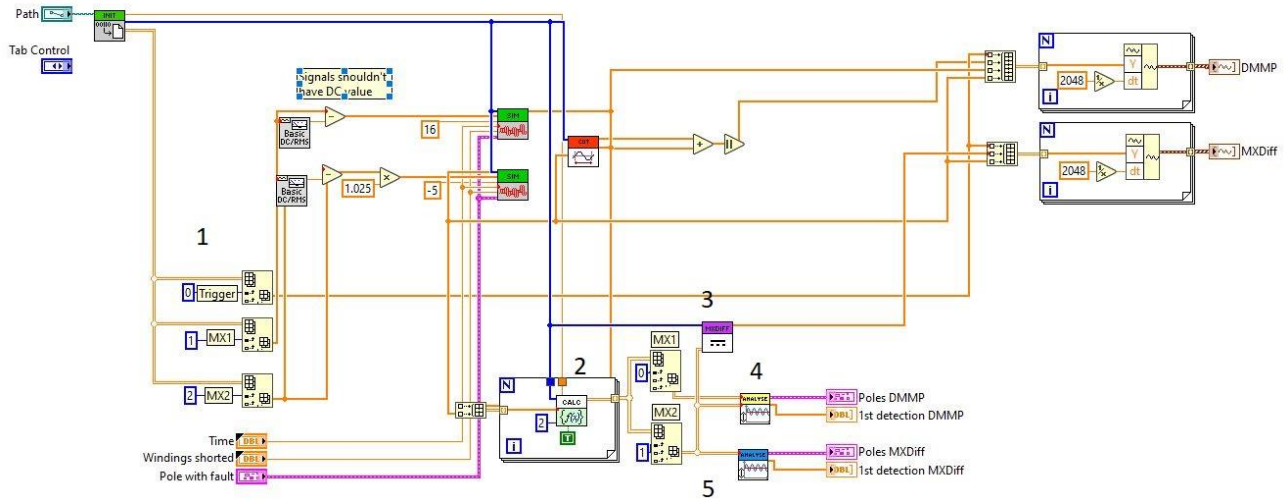
*Slika 9.2.3. SignalCut funkcija*

Sa slike 9.2.1. vidljivo je da imamo tri signala koja nam ulaze u *for* petlju, a na izlazu dva signala. Ovaj kod sadrži dvije *for* petlje. U prvu *for* petlju ulazi trigger, MX1 i MX2 signal. Prva *for* petlja nam služi kao brojač koliko će puta doći do okretanja stroja, dok se druga *for* petlja izvršava onoliko puta koliko imamo polova na rotoru. Znamo da je svaki pol u obliku sinusoidalnoj poluperiodi, ustvari podnizom duljine u 1D nizu za MX1, MX2. Vidljivo nam je u unutarnjoj *for* petlji da se svaki podniz izdvaja. Tako računamo njegovu amplitudu preko rezultata s oba mjerna davača. Od tih rezultata dolazimo do aritmetičke sredine, najčešći slučaj je da se rezultati poklapaju, ali postoji mogućnost da se s jednog mjernoga davača jedan nalazi lijevo ili jedna desno u odnosu na amplitudni iznos. Na kraju takva pronađena aritmetička sredina s jednom točkom s lijeve i jednom točkom s desne strane vraća se u originalni niz magnetske indukcije, dok ostale točke poprimaju iznos 0.

4. dio nam predstavlja niz DMMP-a. S mjernih davača MX1 i MX2 zbrajamo amplitudne vrijednosti magnetskih indukcija. Ako znamo da su magnetske indukcije u protufazi, onda znamo da zbroj predstavlja odstupanje pri međuzavojom kratkog spoja. A apsolutne vrijednosti koristimo radi jasnijeg prikaza na grafu.

### **9.3. Analiza**

Analiza nam predstavlja dio koda koji je zadužen za detekciju ako je došlo do nekih nepravilnosti na valu magnetske indukcije, ustvari u otkrivanju mjesta gdje je došlo do međuzavojnog kratkog spoja.



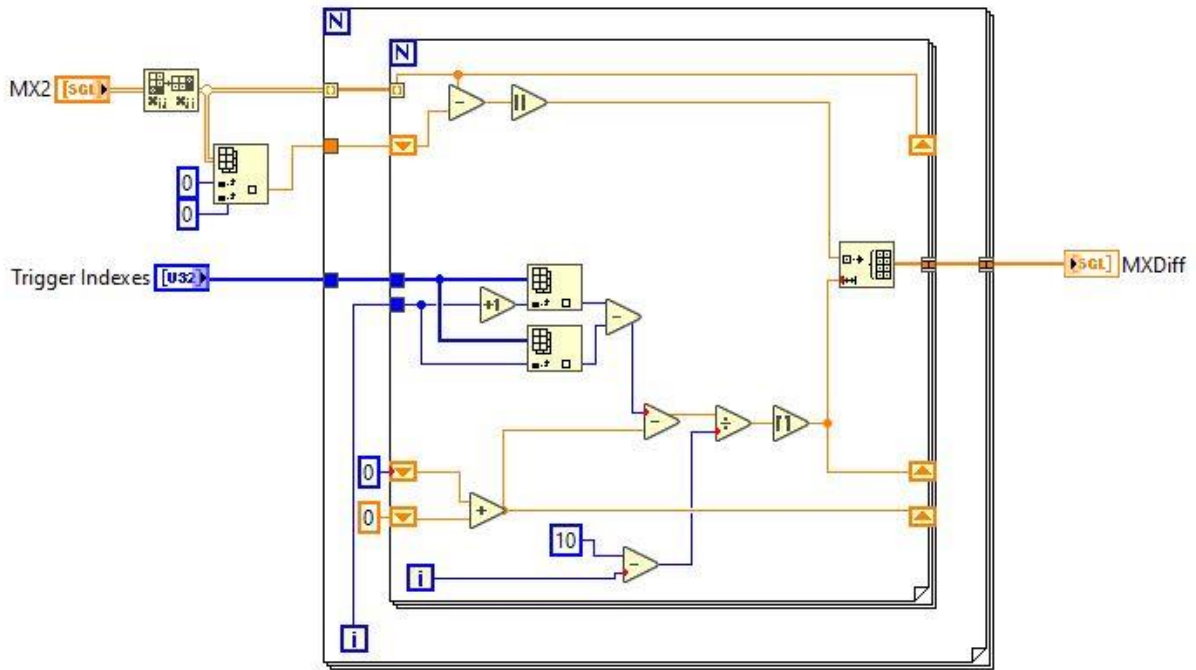
Slika 9.3.1. Prikaz koda za analizu

Kod za analizu smo podijelili na 5 važnih dijelova kako bi lakše objasnili svaki pojedini korak.

U 1. dijelu nalaze nam se ulazne veličine, a to su: MX1, MX2, Trigger Indexes, Rotation speed. Spajanjem nizova MX1 i MX2 dobijemo 2D array naredbom Build Array nakon toga ulazi u for petlju.

U 2. dijelu imamo for petlju unutar koje nam se nalazi potprogram Calculation.vi. U SubVI ulaze Rotation speed i Trigger Indexes koji u sebi nose podatke s magnetskom indukcijom. Funkcija Calculations nam računa maksimalne vrijednosti amplituda magnetske indukcije (naglasak na apsolutnim vrijednostima) za sve polove. A rezultat se šalje dalje kao 2D niz. Na izlazu iz for petlje dobivamo 3D niz koji moramo razdvojiti na dva 2D niza. S naredbom Index Array ćemo dobiti da nam signal MX1 i MX2 sadrži vršne vrijednosti.

3. dio sadrži subVI Limit\_MXDiff. Zadatak ovog potprograma je da kod svakog okretaja rotora izračuna razliku vrijednosti susjednih polova.

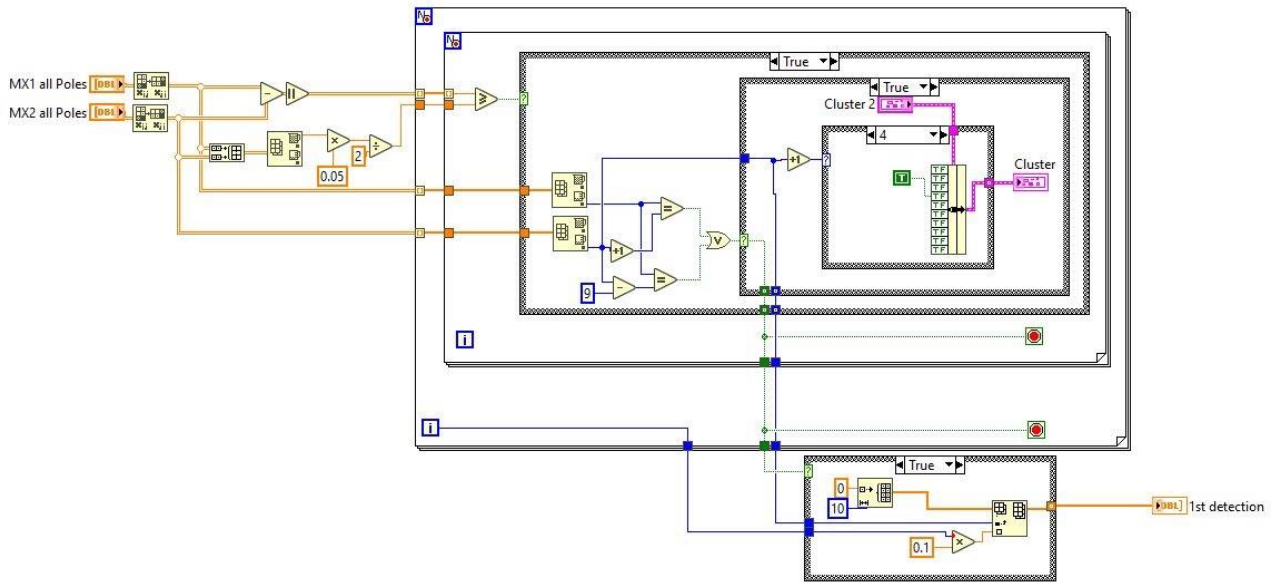


Slika 9.3.2. Limit\_MXDiff

Na *slika 9.3.2.* vidimo da su nam Trigger i MX2 ulazne veličine u *for* petlju. MX2 signal nam služi za obradu MXDiff metode. Iz unutarnje petlje je vidljivo da kod MX2 signala dolazi do oduzimanja vrijednosti trenutnog indeksa s vrijednošću susjednog pola magnetske indukcije. Pri toj obradi koristimo naredbu *Shift Registra* kod kojeg se za početnu vrijednost uzima amplituda početnog pola.

U unutarnjem dijelu *for* petlje nalazi nam se naredba *Initialize Array* ona nam pomaže jer želimo prikazati u istom trenutku razliku u susjednim polovima *i* pol od kojeg se oduzima vrijednost susjednog pola. I ta naredba će puniti niz onoliko koliko ima točaka u jednoj poluperiodi magnetske indukcije. *Trigger indexes* nam služi kako bi mogli izračunati koliko točaka će sadržavati jedna poluperioda. Prilikom dijeljenja dobivenog broja s brojem polova, postoji mogućnost da dođe do ostatka pri dijeljenju. Da bi se ravnopravno rasporedili za svaki signal postavljamo dodatna dva *Shift Registra*.

U 4. dijelu nalazi nam se potprogram Analyse\_DMMP. Ovaj potprogram nam pokazuje jel došlo do kratkog spoja u među zavojima ili nije, a to radi tako da uspoređuje vršne vrijednosti amplituda s oba mjerna davača.



Slika 9.3.3 Analyse\_DMMP

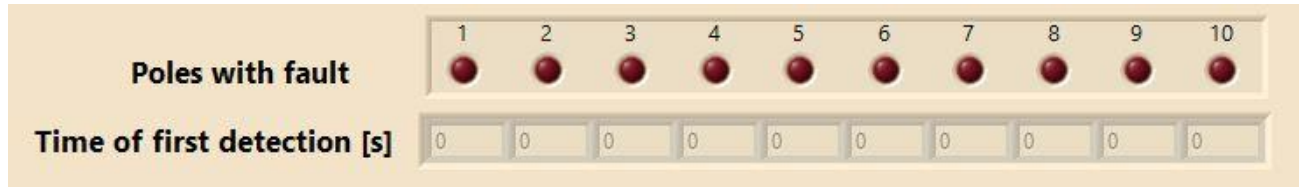
MX1 all Poles i MX2 all Poles nam se nalaze na ulazu. Uz pomoć Transpose array naredbe mijenjamo mjesta u redcima i stupcima, pa će nam tako stupac određivati broj pola, a svaki redak svaki okret. Razliku između vrijednosti magnetske indukcije dvaju susjednih polova (DMMP) moramo izračunati prije ulaska u *for* petlju. Pri tome moramo i izračunati granicu koja će nam predstavljati 5% odstupanje maksimalne vrijednosti magnetske indukcije. A to radimo tako da uzmemo sve vrijednosti magnetske indukcije s oba mjerna davača i vrijednost koja je najveća množimo s 0,025. duplo manja vrijednost od 5%, a to radimo jer je DMMP metoda poprilično osjetljiva i prikazat će i sitne promjene.

Kod sadrži dvije *for* petlje. Prva *for* petlja nam predstavlja brojač okretaja, dok druga *for* petlja označava broj pola. Ako dođe do promjene vrijednosti DMMP i to uza veću od 2.5% onda će *Case Structure* promijeniti stanje na *True*. S tim nam potvrđuje da je došlo do greške na oba mjerna davača na istom polu. U Cluster upisuje da je detektiran jedan pol s međuzavojnim kratkim spojem.

Zadaća druge *Case Structure* je da upiše pol i vrijeme kada je došlo do detektiranja međuzavojnog kratkog spoja. Kako bi otkrili porebno je napraviti nul reda s 10 elementa i kroz vanjsku *for* petlju

## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

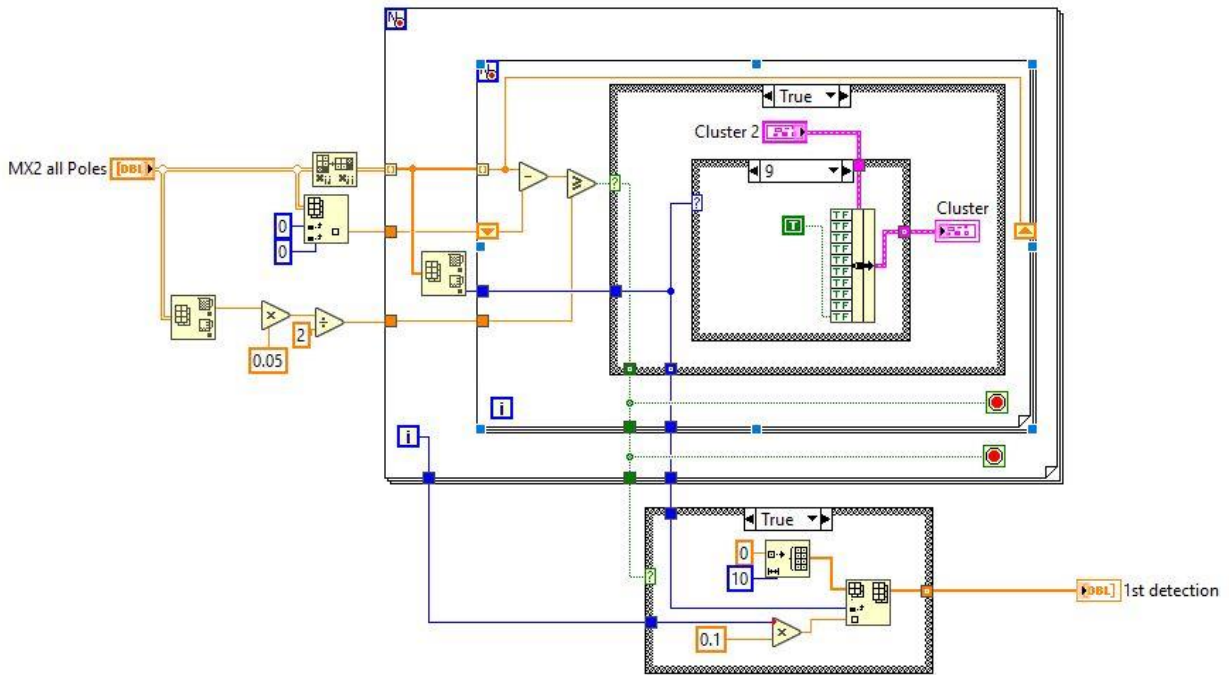
(ona nam predstavlja brojač okretaja) kada dođe do detekcije moramo pomnožiti s 0,1 jer je to vremenski period potreban da rotor napravi jedan krug.



*Slika 9.3.4. Prikaz detekcije kratkog spoja na početnom zaslonu*

*Slika 9.3.4.* Pokazuje nam *Front Panel* na kojima vidimo Poles DMMP i 1st detection DMMP kao izlazne terminale. Govore nam o polu na kojem je došlo do međuzavojnog kratkog spoja i u kojem vremenu.

Zadnji 5. dio sadrži potprogram *Analyse\_ MXDiff*. Uz pomoć MX2 mjernog davača, putem MXDiff metode upozorava korisnika kada dođe do otkrivanja međuzavojnog kratkog spoja.



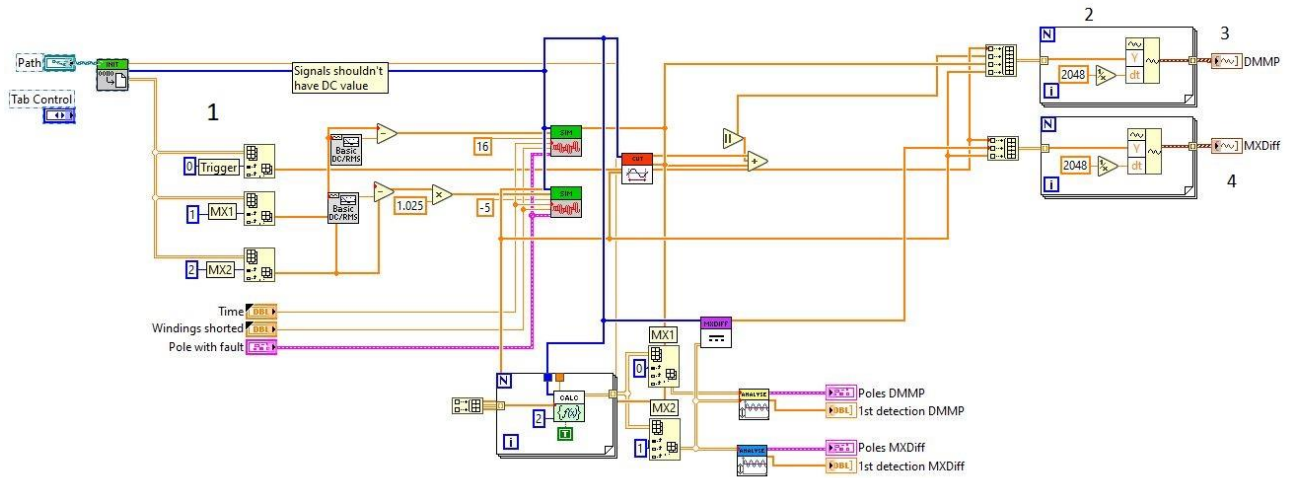
Slika 9.3.5. Analyse\_MXDiff

Sa slika 9.3.5. je vidljivo da je ulazni terminal *MX2 all Poles*. Prije ulaska u prvu *for* petlju dvodimenzionalni niz mora proći kroz naredbu *Transpose Array*. Potrebno nam je znati maksimalne vrijednosti kako bi mogli odrediti granicu pri postavljanju alarma i obavijesti korisnika o detekciji kvara. U prvoj *for* petlji definiramo minimalne vrijednosti, u slučaju detektiranja kratkog spoja bit će prikazan na grafu. Dok nam se u drugoj *for* petlji odvija detekcija, tako da se oduzimaju vrijednosti susjednih polova. Ako se dogodi da je vrijednost veća od postavljene granične u naredbi *Case Structure* preuzeti će vrijednost *True*. Signal iz *Case Structure* dolazi do *Cluster* elementa *Boolean* tipa. Tako će *Boolean* tip poprimiti pozitivnu vrijednost i onda ćemo na *Front Panelu* (zaslonu aplikacije) dobiti aktivaciju gumba s točnim brojem polova. Ostatak koda je jednak kao i kod *Analyse\_DMMP*.

## 9.4. Prikaz valnih oblika

Za kraj ovog dijela ostaje nam objasniti kod za prikaz valnih oblika. To je vizualni način prikazivanja jednodimenzionalnih nizova koji omogućava bolji i jednostavniji prikaz stanja korisniku.





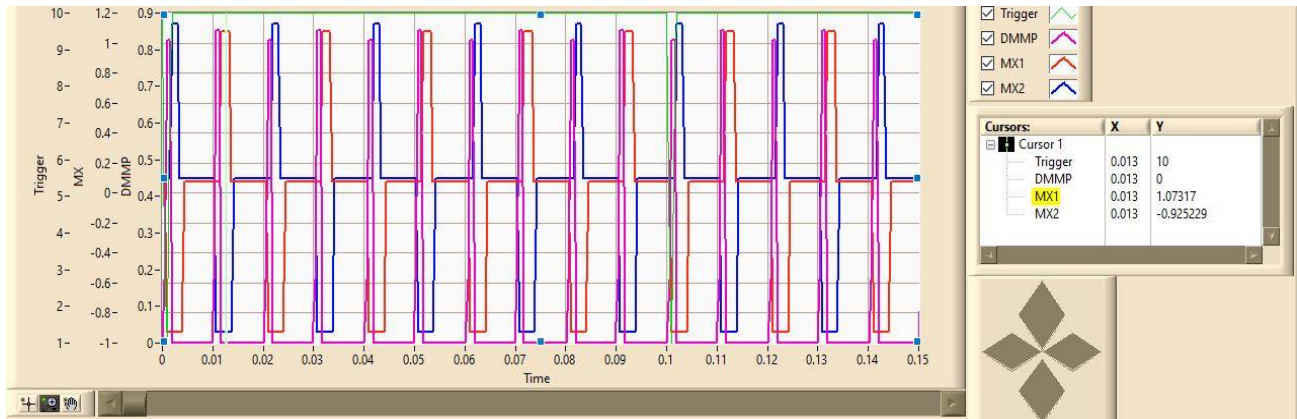
Slika 9.4.1. Prikaz koda za valni oblik

Kao i do sada što smo imali praksu podijeliti kod na važne dijelove. Tako smo i ovdje podijelili kod za prikaz valnih oblika u 4 dijela.

Prvi dio nam predstavlja sve ulazne veličine koje se kasnije preko naredbe *Build Array* spajaju u dvodimenzionalni niz. Možemo vidjeti da su ulazne veličine MXDiff, DMMP, Trigger, MX1 i MX2. Za MXDiff metodu sadrži ulazne veličine trigger, MXDiff, MX2. dok su za DMMP metoda sadrži MX1, MX2, Trigger i DMMP.

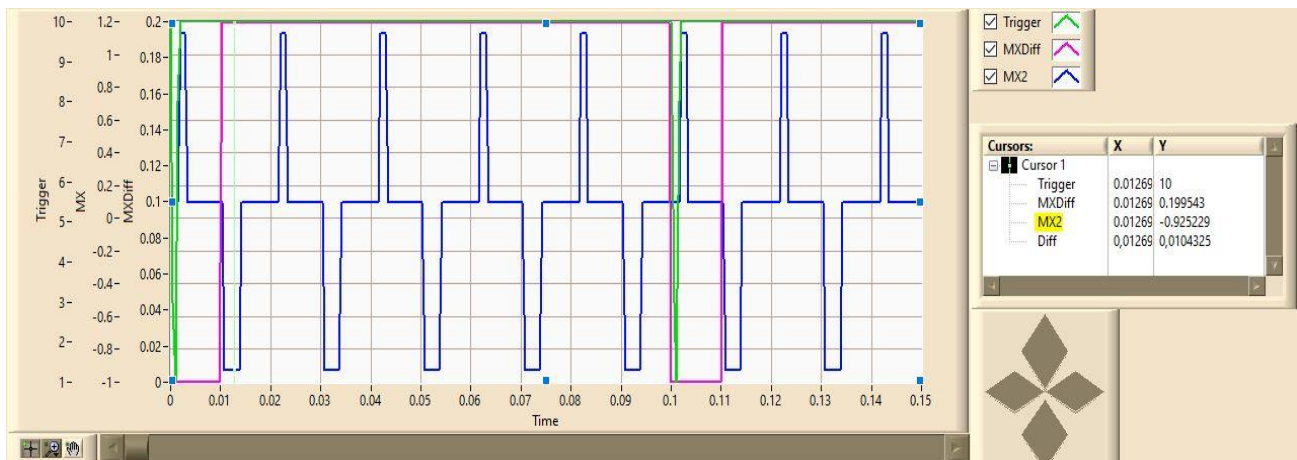
U drugom dijelu nalaze nam se dvije *for* petlje, koje su jednakih elemenata. Glavna zadaća im je signal dovesti u odgovarajuće stanje da prikazuje svoju vrijednost u vremenskoj domeni. To možemo postići s naredbom *Build Waveforma*. Signal će nam na izlasku biti dvodimenzionalan i na *Front Panelu* će se pokazati u obliku grafa.

Na *slika 9.4.2.* možemo vidjeti izgleda grafa za DMMP metodu.



Slika 9.4.2. Graf DMMP

Dalje u tekstu ćemo opisati *Slika 9.4.2.* u gornjem desnom kutu nam je označeno kojom bojom je koji signal pokazan na grafu. Imamo mogućnost isključivanja i uključivanja pojedinog signala. Što nam u dosta slučajeva može olakšati situaciju. Onaj signal koji nam nije potreban i samo ga isključimo s grafa. S desne strane nam se još nalazi i kursor pomoću kojeg lakše možemo odrediti koja točka ima koju vrijednost.



Slika 9.4.3. Graf MXDiff

Kao i na prethodnom grafu tako i ovdje vidimo u desnom gornjem kutu koji nam se signali nalaze na grafu. U ovom slučaju MX2 je plav boje, MXDiff je ljubičaste, a trigger je zelene boje. Prve dvije y-osi su jednake kako i kod DMMP grafa, jedina je razlika u trećoj osi koja prikazuje signal MXDiff.

## 9.5. Prednje sučelje

Prednje sučelje (*engl. Front Panel*) predstavlja nam komunikaciju između korisnika i programa. Ključnu ulogu igra funkcionalnost same aplikacije, a po pitanju prednjeg sučelja bitno je da bude pregledno. Prije pokretanja aplikacije moramo odabrati lokaciju s koje ćemo očitati podatke. U gornjem lijevom kutu imamo tipku *Run* koja nam služi za pokretanje aplikacije. Nakon izvršenja programa, na grafu ćemo dobiti valne oblike.

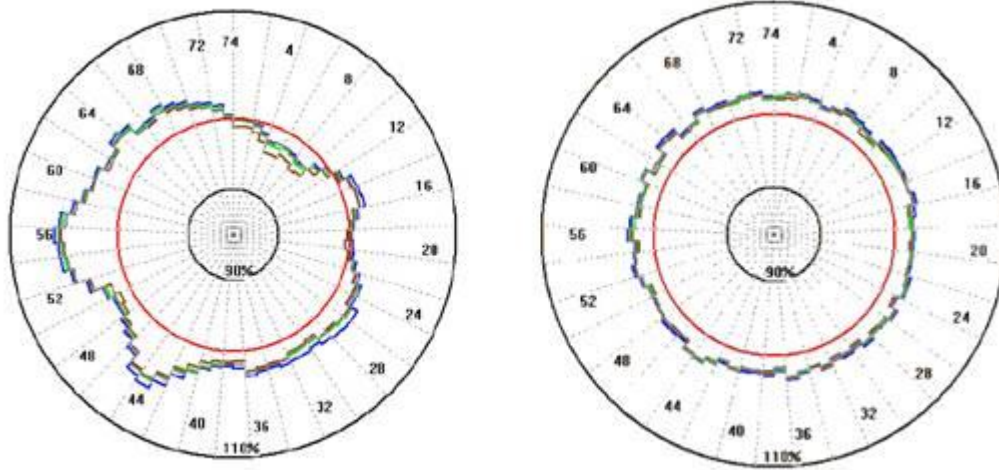


Slika 9.5.1. Prikaz Front Panela

Na glavnom sučelju imamo mogućnost odabira detekcije kratkog spoja DMMP ili MXDiff. Jednostavno je mijenjanje, pritiskom na karticu s imenom načina detekcije koji želimo koristiti. Dok je najvažniji element grafa prikazom signala magnetske indukcije i odstupanja. Uz pomoć grafa korisnik može vizualno analizirati stanje, a ispod grafa nam se nalazi signalizacija kvara za svaki pojedini pol.

## 10. Polarni prikaz

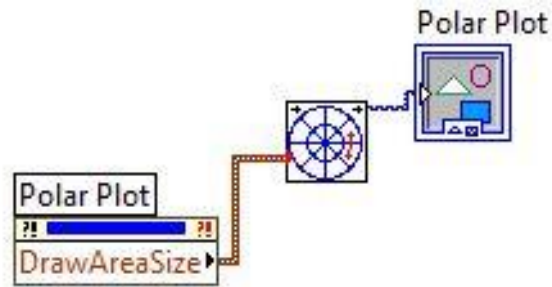
Iz matematike znamo da je polarni koordinatni sustav dvodimenzionalan.



*Slika 10.1. Primjer Polarnog plota*

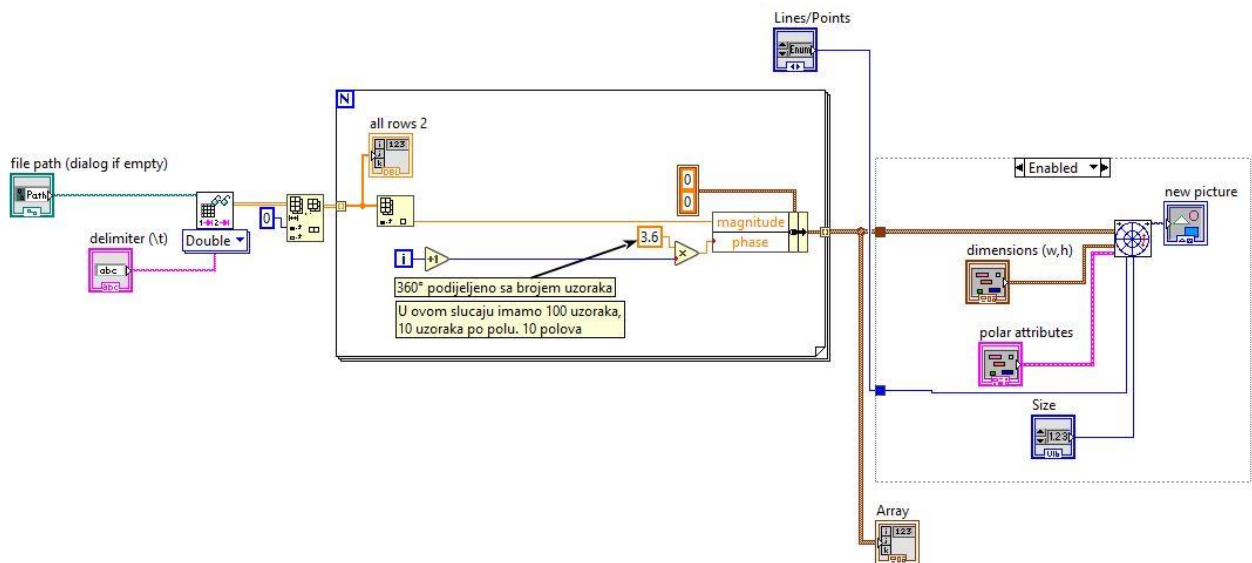
To je koordinatni sustav u kojemu je svaka točka na ravnini određena udaljenošću od referentne točke i kutem od referentnog smjera. Referentnu točku ili ishodište nazivamo pol, a zrake iz referentnog pola u referentnom smjeru nazivamo polarna os. Kutevi u polarnoj rotaciji izražavaju se u stupnjevima ili u radijanima ( $2\pi$  ili  $360^\circ$ ). Oko 18. stoljeća počinje se prakticirati polarni prikaz jer je došlo do sve veće zainteresiranosti za proučavanje kružnog i orbitalnog gibanja.

## 10.1. Izrada polarnog plota



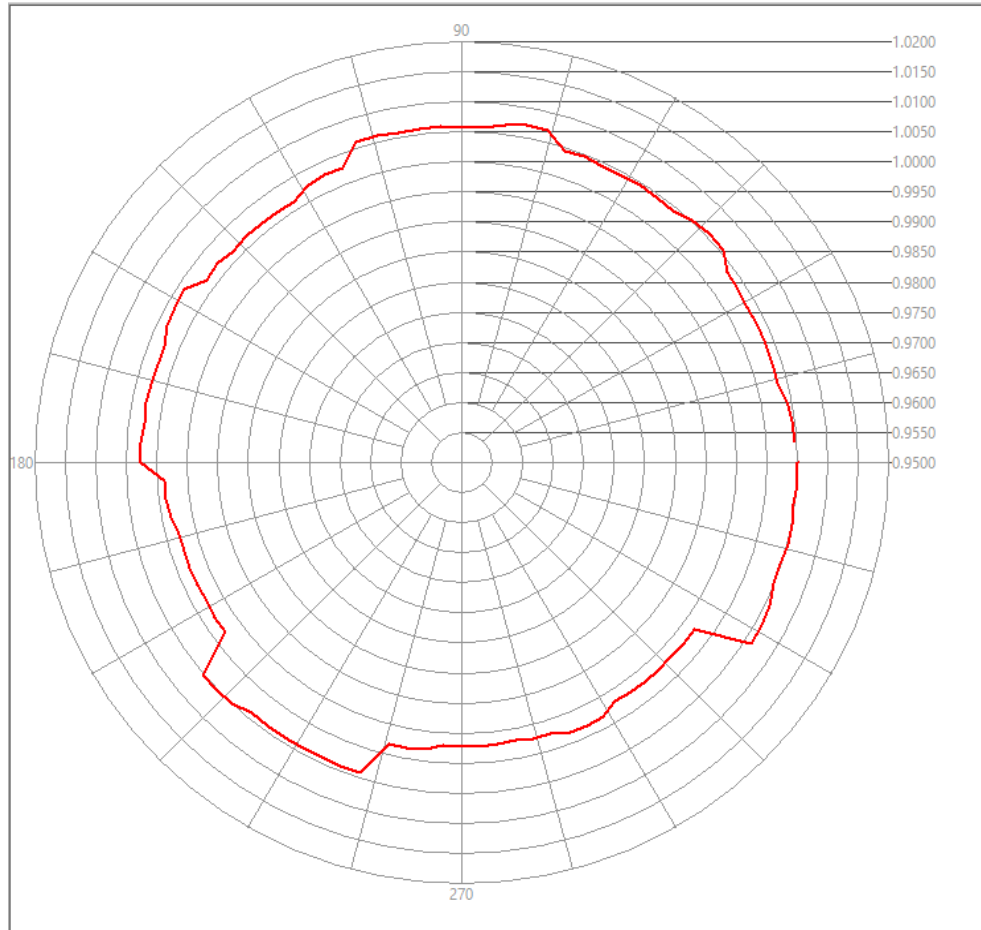
Slika 10.1.1. LabVIEW prikaz polarnog plota

Slika 10.1.1. prikazuje nam izgled polarnog plota u LabVIEW programu. Unutar njega podešavamo broj polova. Odnosno broj polova u ovom slučaju je 10. Podijelit ćemo ga s cijelim krugom, a to je  $360^\circ$ . Tako da će nam za svakih  $36^\circ$  biti označen jedan pol. Tako na *slika 10.1.2.* možemo vidjeti cijeli kod u Labview koji nam je bio potreban kako bi dobili polarni plot.



Slika 10.1.2. Kod za polarni plot

Iz CoDiS database-a smo preuzeli vrijednosti s mjernih davača koji se nalaze na generatorima RHE Velebit. Učitali smo ih u kod prikazan na slika 10.1.2. Vidljivo iz koda da je za polarni plot potrebno unjeti željenu dimenziju, veličinu i informacije o polovima. Kao što smo već gore u tekstu napisali govorimo od generatoru s 10 polova.



*Slika 10.1.3. Prikaz rezultata magnetske indukcije (vrijednost izražene u [T]) preko polarnom plotu*

Nakon što smo provrtili podatke iz CoDiS database-a kroz naš program. Dobili smo polarni prikaz stanja magnetske indukcije na generatoru RHE Velebit. Na grafu crvenom bojom su prikazane vrijednosti magnetske indukcije kroz MXDiff metodu. U par poglavlja prije pisali smo o MXDiff metodi i rekli da ima jedan mjerni davač, zato imamo jednu vrijednost s jednog mjernog davača

## MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

iskazanu na polarnom prikazu. Vrijednosti su prikazane za jedan okret. Iz slika 10.1.3. vidljivo je da imamo promjene u vrijednostima magnetske indukcije na pojedinom polu. Razlike u vrijednostima nisu velike i nije dolazilo do većih promjena ili katkih spojeva na međezavojima. Razlog ovim malim oscilacijama do kojih je došlo može biti u nesavršenosti pri izradi rotora, blagim oštećenjima na izolaciji i zbog nezaobljenosti polova rotora.

## **Zaključak**

Uz pomoć monitoringa možemo predvidjeti dolazak do kvara, u ovom slučaju na električnim strojeva. Rana reakcija na kvar ujedno će nam stroj održati na životu i na taj način produljiti njegov vijek trajanja. Monitoring nam omogućava praćenje rada stroja, veličina koje su nam potrebne. Podatke o stanju stroja sprema u svoju bazu. Što korisniku omogućava lakši pregled i bolju vizualizaciju stanja stroja. Jedna, a možda i najvažnija prednost monitoringa je ta da imamo trenutni uvid u stanje stoja i procjenjujemo jer ima potrebe da se radi remont, ako stroj radi bez i kakvih smetnji. Jer nepotrebno zaustavljanje stroja i nepotreban servis će nam stvoriti troškove u pogonu koji nisu bili potrebni. U ovom slučaju govorimo o monitoringu magnetske indukcije kod zračnog raspora. Važnost tog podatka leži u tome što uz pomoć te veličine možemo odrediti stanje međuzavojnog kratkog spoja (proboj izolacije). Dobiveni signal kratkog spoja ćemo obraditi u LabVIEW programu uz pomoć dvije metode, a to su MXDiff i DMMP koje smo obradili u diplomskom radu. U usporedbi te dvije metode procijenili smo da nam je MXDiff metoda jednostavnije ugradnje, ne prima na sebe veliki vanjski utjecaj i pouzdanija.

Obradu i prikaz signala radimo u LabVIEW programu. Pruža nam široki spektar alata i omogućava daljnju nadogradnju programa. Uz koji je lakše na grafički način prikazati samo programiranje. U radu samo stanje na 3 hidroelektrane prikazali na polar plot grafu. Iz kojeg na polarnom koordinatnom sustavu vidimo vrijednosti magnetskog toga u odnosu na referentnu točku. Te iz toga možemo zaključiti jel došlo do kratkog spoja u međuzavojima ili ne.



# MJERENJE ELEKTROMAGNETSKOG POLJA HIDROGENERATORA U SVRHU MONITORINGA

## Sažetak

Tehnologija napreduje iz dana u dan, rad u postrojenjima teže savršenstvu i da budu kontroliran. Nadzor sustava ili monitoring ima jako važnu ulogu u postrojenju. Nadzire rad postrojenja i detektira nam ranu promjenu u radu stroja. Što nam omogućava pravovremenu reakciju i s tim sprječava dolazak do većeg oštećenja. U vremenu kada treba doći do remonta preko monitoringa vidimo stanje (zdravlje) stroja ako nam pokazuje da je sve uredu, onda nema potrebe za monitoringom i dodatnim troškovima. Kao najvažnije veličina u ovom sustavu nam je magnetska indukcija jer preko nje možemo utvrditi jel nam došlo do međuzavojnog kratkog spoja na polovima rotora. Rezultati se prikupljaju preko mjernih svitaka i rada preko dvije metode (MXDiff i DMMP). A obrada se izvršava u programu National Instruments-a LabVIEW. Grafički prikaz signala prikazani su na polarnom koordinatnom sustava. Gdje je iz vrijednosti magnetske indukcije vidljiv proboj izolacije (međuzavojni kratki spoj).

# MEASURING THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE HYDROGENERATOR FOR THE PURPOSE OF MONITORING

## **Abstract**

Technology advances day by day, work in plants strives for perfection and to be controlled. System supervision or monitoring has a very important role in the plant. It monitors the operation of the plant and detects early changes in the operation of the machine. This enables us to react in a timely manner and thereby prevents major damage. At the time when the overhaul is due, we can see the state (health) of the machine through monitoring, if it shows us that everything is in order, then there is no need for monitoring and additional costs. The most important quantity in this system is the magnetic induction, because through it we can determine if there is a single-turn short circuit on the rotor poles. The results are collected through measuring rolls and work through two methods (MXDiff and DMMP). And the processing is performed in the National Instruments LabVIEW program. Graphical display of signals are shown on the polar coordinate system. Where a breakdown of the insulation (inter-turn short circuit) is visible from the value of the magnetic induction.

## **Literatura**

- [1] Damir Šljivac, Danijel Topić „Obnovljivi izvori električne energije“ Sveučilišni udžbenik. Osijek, 2018.
- [2] Muharem Mehmedović, Stjepan Štefanko „Teorija polja i valova“. Osijek, 2010.
- [3] Juha Pyrhonen, Tapani Jokinen, Valeria Hrabovcova „Design of rotating Electrical Machines, Second Edition“. 10 October 2013.
- [4] Ivan Plavčić, diplomski rad „Dijagnostika međuzavojnih kratkih spojeva na plovima rotora hidrogeneratora“ Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, lipanj 2017.
- [5] Jadrić, Rajković, Terzić, Firingner, Despalatović, Gladina, Orešković, Meško, Macan: „Monitoring hidroagregata – stanje i razvoj u Hrvatskoj elektroprivredi, proizvodno područje HE Jug“, Sveučilište u Splitu, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split, svibanj 2004.
- [6] Polar coordinate system, [https://en.wikipedia.org/wiki/Polar\\_coordinate\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Polar_coordinate_system)
- [7] National Instruments, Polar Plot, [https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/lvpict/polar\\_plot\\_with\\_point\\_options.html](https://www.ni.com/docs/en-US/bundle/labview/page/lvpict/polar_plot_with_point_options.html)
- [8] Pilot projekt – monitoring, Inteligentna energija, <https://hgk.hr/documents/cluster-ie-monitoring-mladen-perkov5aec184ba48cc.pdf>
- [9] Matija Bušić, diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2009.
- [10] National Instruments –LabVIEW <https://www.ni.com/en-rs/shop/labview.html>
- [11] Hydroelectricity, <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity>
- [12] Boženko Bilić, Mate Jurjević, Jane Barle „Procjena pouzdanosti tehničkog sustava primjenom Markovljevih modela i sustavne dinamike“ FESB, Split, 2010.

## **Životopis**

Matej Barić rođen je 12.07.1994.g u Vinkovcima. Godine 2001 upisuje osnovnu školu Augusta Cesarca u Ivankovu. Nakon završetka osnovnog obrazovanja upisuje srednju školu Gimnaziju Matije Antuna Reljkovića u Vinkovcima. 2013. godine upisuje stručni studij elektrotehnike smjer elektroenergetika na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. 2015. godine odrađuje stručnu praksu u HEP-ODS Vinkovci. 2016. godine završava preddiplomski stručni studij Elektrotehnike smjer Elektroenergetike, a 2017. godine upisuje sveučilišni preddiplomski studij razlikovne obveze smjer elektroenergetika; modul ROEE – izborni blok "E" i postaje član IEEE organizacije. Gdje sudjeluje u brojnim aktivnostima u organizaciji gostujućih predavanja i u organizaciji kongresa. 2018. godine upisuje sveučilišni diplomski studij elektrotehnike; smjer elektroenergetika; modul DEC - industrijska elektroenergetika. Iste te godine zapošljava se u Red Bull na poziciji Student Marketeer. 2019. godine obavlja diplomsku praksu u firmi VESKI u Zagrebu. 2022. godine otvara svoju firmu u području fotografskih djelatnosti za izradu i obradu videozapisa.