




Kako poboljšati pouzdanost vaših rotacijskih strojeva koristeći dijagnostiku Parcijalnih Pražnjenja

Andrej Šepčić



©2023 Doble Engineering Company. All Rights Reserved.



Inženjerska stručnost i napredna dijagnostika kako
bi se osiguralo da svi ljudi globalno imaju
pouzdanu, sigurnu i zaštićenu energiju u
održivom svijetu

IZGRAĐEN NA VIŠE OD STOLJEĆA INOVACIJA I STRUČNOSTI.
ZA SLJEDEĆE STOLJEĆE.



100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY

1920 Doble Safety Portable Telephone

1922-1923 Type A & B testers

1928 Power factor test set

1934 First Doble Client Conference

1936 Frank Doble forms special oil committee

1949 Type MH power factor test set

1951 First Doble survey of electric insulating mineral oils

1965 Morgan Schaffer established in Montreal, Canada

1972 TR-1 circuit breaker motion analyzer

1978 Doble acquires Justice Controls Corporation

1982 Type F3/F3S series

1987 TR3000 circuit breaker analyzers

1989 AM100 circuit breaker monitor

1990 Doble Test Assistant (DTA) software

1993 M4000 high voltage apparatus tester

1994 AMS-500 on-line dissolved hydrogen monitor

2000 Intelligent Diagnostic Devices (IDD)

2000 F6 series

2001 Calista™ dissolved hydrogen & water monitor

2003 Doble Power Test opens in the UK

2005 Nykos™ portable dissolved gas analyzer

2007 ESCO Technologies, Inc. acquires Doble Engineering Company

2011 ddbiAPM™ asset risk management system

2012 Xtensible

2013 M7000 high voltage asset analyzer

2014 Condition monitoring system

2015 ENOSERV joins the Doble team

2016 Transient Cyber Asset (TCA) program

2017 NRG Systems joins Doble's Utility Solutions Group

2017 Morgan Schaffer and Vanguard Instruments join the Doble team

2017 ENOSERV joins the Doble team

2018 Manta Test Systems joins the Doble team

2021 F8 Series

2021 ALTANOVA joins the Doble team

2021 PHENIX TECHNOLOGIES joins the Doble team

DOBLE DANAS



110

DRŽAVA



12

UREDA
DILJEM
SVIJETA



800+

ZAPOSLENIKA



5,550+

KLIJENATA GLOBALNO



Dio ESCO
Technologies'
Utility Solutions
Groupe

NAŠI BRENDOVI





- Tranzicija u čistu energiju
- Rastuća potražnja za električnom energijom
- Distribuirana energija i obnovljivi izvori energije
- Razvoj kibernetičke sigurnosti i regulatornih zahtjeva
- Ukorak s IoT-om
- Umjetna inteligencija i nove tehnologije

S pogledom usmjerenim u budućnost, Doble će pomoći opskrbljivačima električnom energijom da upravljaju promjenama – baš kao što smo to činili zadnjih 100 godina.

OPTIMIZIRAJTE PERFORMANSE UZ DOBLE



PROIZVODE I RJEŠENJA

- Kontinuirani monitoring opreme
- Upravljanje imovinom poduzeća
- Ispitivanje zaštite
- Off-line testiranje i ocjenjivanje
- Usluge savjetovanja i ispitivanja
- Ispitivanje i ocjenjivanje tijekom rada
- Sigurnost i usklađenost
- Standardi ulja



Rješenja za ispitivanje i kontinuirani nadzor za:



- Energetske Transformatore
- Prekidače
- GIS
- SN/VN/EVN kabeli
- SN/NN distribucijske panele
- Baterije
- Strujne i Naponske transformatore
- Zaštitne releje
- Mjerila Energije i Pretvarače
- Rotacijske strojeve
- Dalekovode



Ispitni uređaji

Neophodni za svakodnevna ispitivanja i održavanja električne opreme. Korisno u određenim fazama životnog ciklusa imovine.



Usluge ispitivanja i konzultacije

Raznovrsna ponuda ovisno o životnom ciklusu električne imovine:

- Instalacija i puštanje u pogon
- Diagnoostička ispitivanja
- Analize podataka
- Konzultacija
- Treninzi



Sustavi kontinuiranog nadzora

Prijeđite s održavanja temeljenog na vremenu na održavanje temeljeno na stanju.

Usredotočite se na prediktivno održavanje i pomaknite fokus s troška vrijednosti električne imovine na troškove ispada mreže.

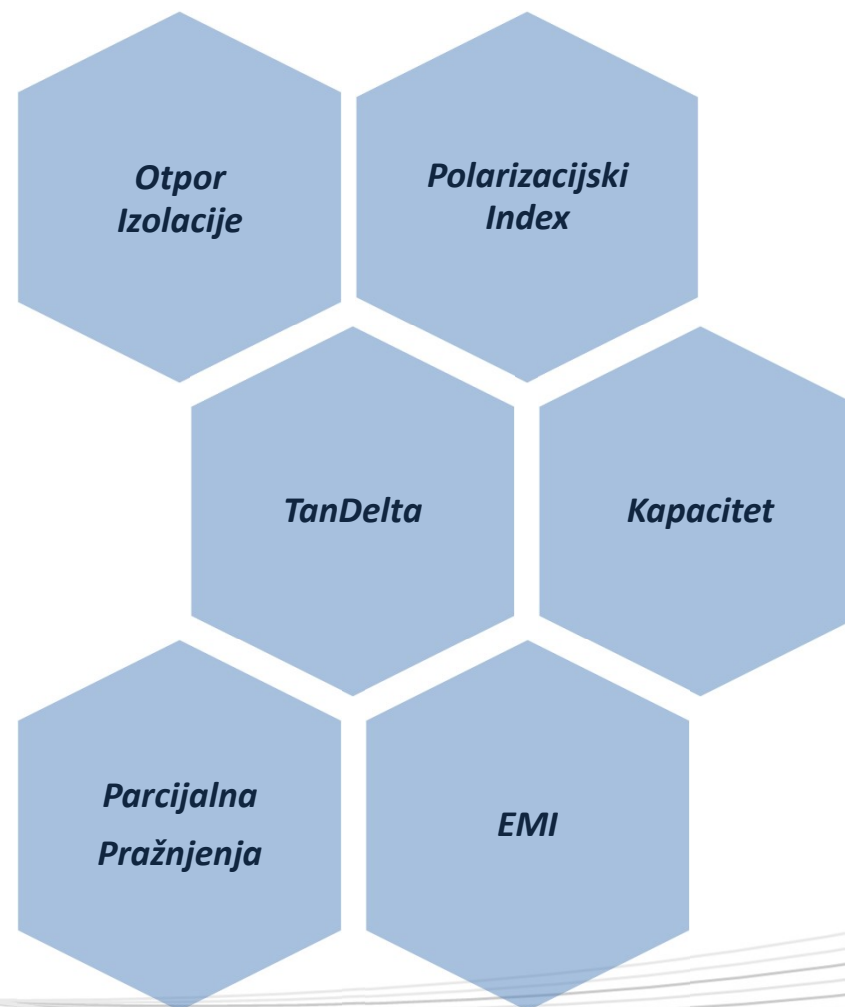
Snažna evolucija trenda digitalizacije u elektroenergetskoj industriji.



Dijagnostika RM



Tradicionalna električna ispitivanja na Rotacijskim Mašinama



Dijagnostika RM

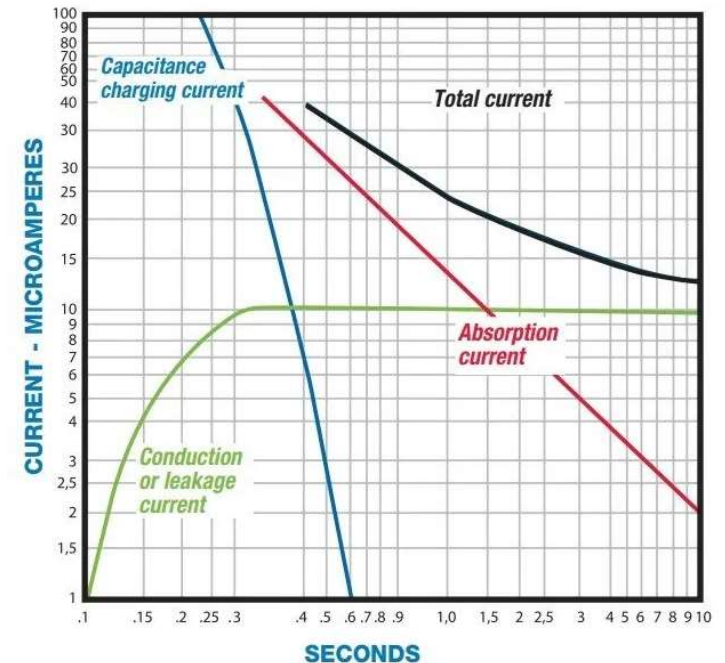
Otpor Izolacije (IR) & Polarizacijski Index (IP)

| | |
|-----------------|----------------------------|
| <i>Fokus na</i> | <i>Statorskim namotima</i> |
| <i>Senzori</i> | <i>CA 6547</i> |
| <i>Standard</i> | <i>IEEE 43</i> |

Rutinski testovi korisni za dijagnosticiranje moguće kontaminacije i kratkog spoja, provode se prije AC testa i puštanja u rad.

IR je temperaturno ovisan u usporedbi sa PI.

Učinkovito u otkrivanju problema povezanih s površinom izolacijskih sustava, manje osjetljivo na unutarnje nedostatke ili raslojavanja (delaminacije).



Dijagnostika RM

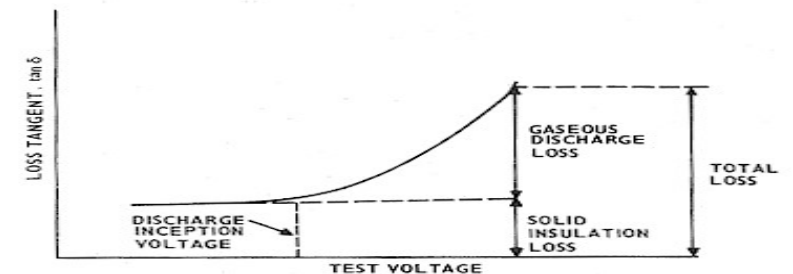
TanDelta (TD) & Kapacitet

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| <i>Fokus na</i> | <i>Statorskim namotima</i> |
| <i>Senzori</i> | <i>Doble M4100 i TDX 5000</i> |
| <i>Standard</i> | <i>IEEE 286; IEC 60034-27-3</i> |

Mjerenje lutajućih struja (ili TanDelta) namota statora je makroskopski indeks ponašanja izolacije opterećene različitim razinama napona.

Neprihvatljive TanDelta vrijednosti mogu biti uzrokovane:

- Vlagom;
- Propadanjem poluprovodljivih slojeva → prisutnost PD;
- Klinovi nisu zategnuti;
- Onečišćenje izolacijskog sustava.





ISPITIVANJE PARCIJALNIH PRAŽNENJA (PD)

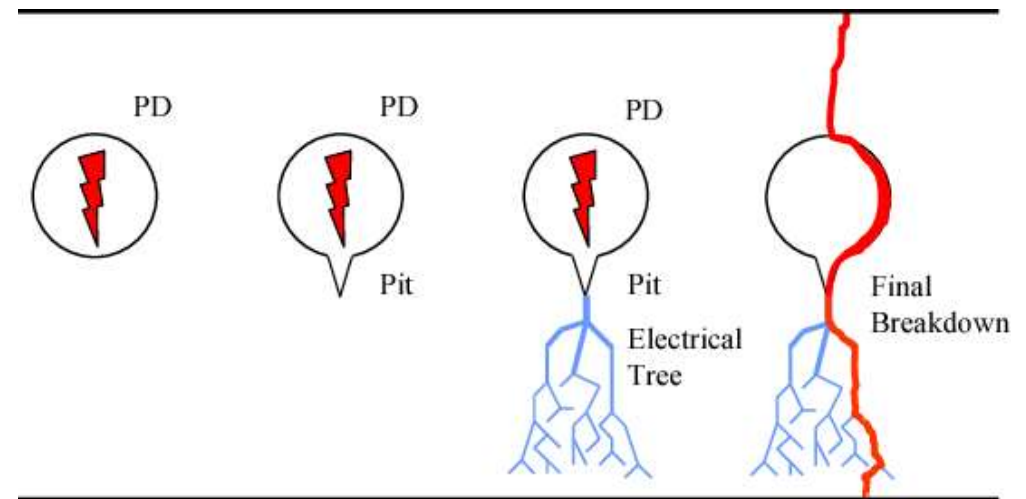
Parcijalna pražnjenja i rotacijski strojevi



Definicija parcijalnog pražnjenja :

IEC: *“Lokalizirano električno pražnjenje koje samo djelomično premošćuje izolaciju između vodiča i koje se može ali ne mora pojaviti u blizini vodiča”*

IEEE: *“Lokalizirano električno pražnjenje koje samo djelomično premošćuje izolaciju između vodiča”*



Parcijalna pražnjenja i rotacijski strojevi

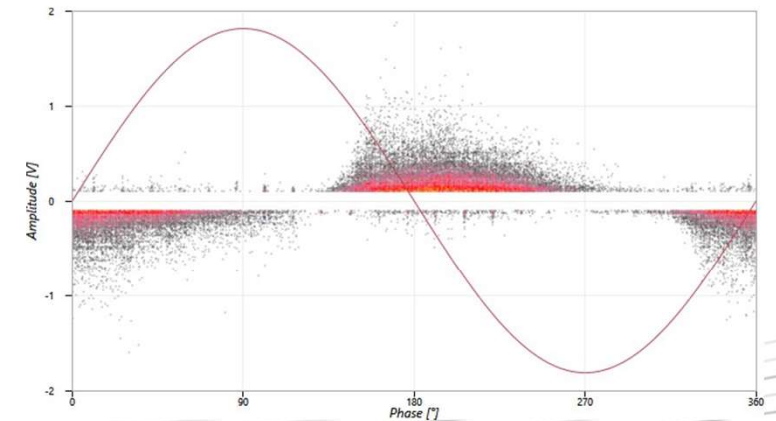
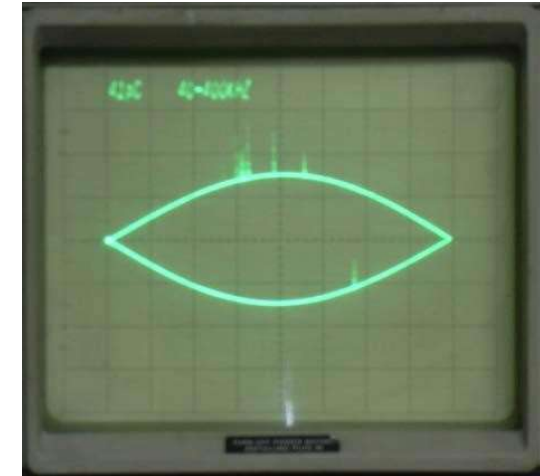


Fazno koreliran (razlučiv) uzorak parcijalnih pražnjenja (PRPD)

Svaki PD fenomen generira tisuće PD impulsa svake sekunde. Uobičajeni način da ih se vizualizira je iscrtavanje amplitude impulsa u korelaciji s primijenjenim naponom.

Korelacija se temelji na fizici PD-a, električni stres zbog primijenjenog napona aktivira PD.

PRPD pattern recognition is the key for PD diagnostics outside of laboratories.



Parcijalna pražnjenja i rotacijski strojevi



Standardi ispitivanja PD na RM

IEC 60034-27-2: *On-line partial discharge measurements on the stator winding insulation of rotating electrical machines*

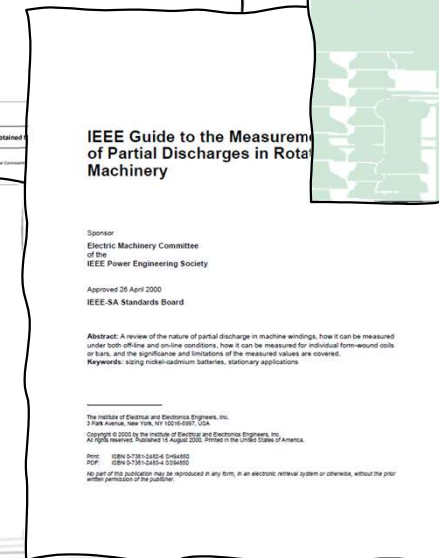
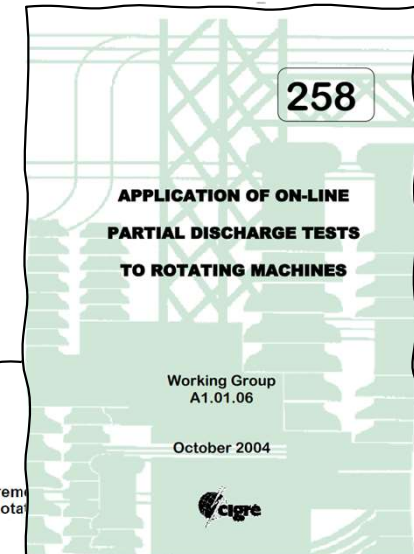
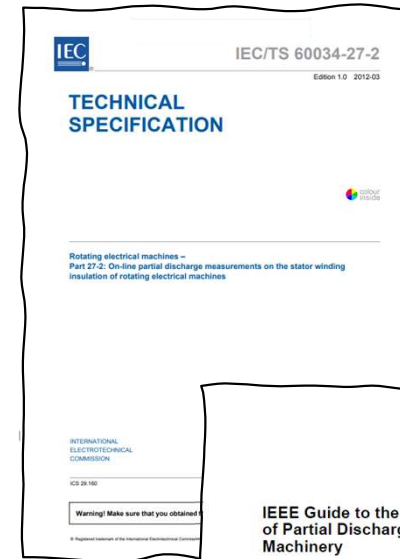
(On-line mjerenja parcijalnih pražnjenja na izolaciji namota statora rotacijskih električnih strojeva)

IEEE 1434: *Guide for the Measurement of Partial Discharges in AC Electric Machinery*

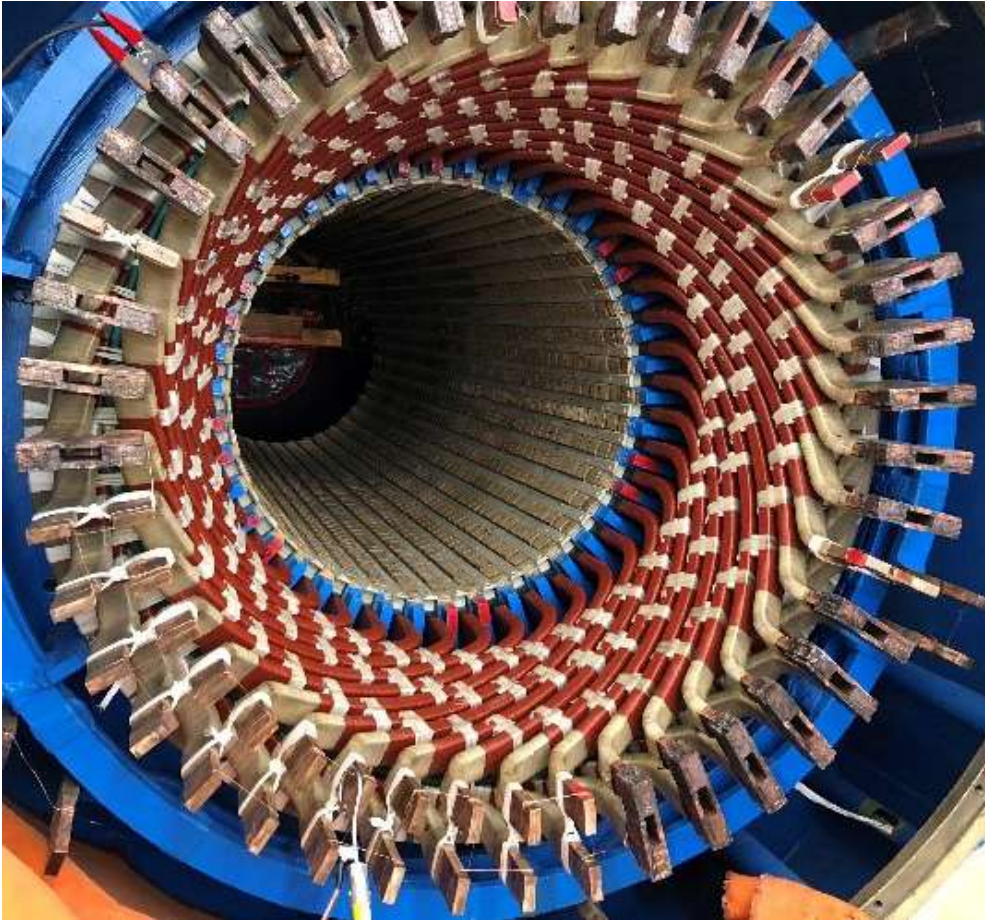
(Vodič za mjerenje parcijalnih pražnjenja u električnim strojevima izmjenične struje)

CIGRE 258: *Application of on-line partial discharge tests to rotating machines*

(Vodič za mjerenje djelomičnog pražnjenja u električnim strojevima izmjenične struje)



Fenomen PP



- PRPD uzorak (pattern) & polaritet
- Mikropraznine (Microvoids)
- Delaminacija
- Delaminacija sa strane vodiča
- Izboji u utoru (Slot discharges)
- Stress grading discharges
- Izboji Faza – Faza/Faza – Zemlja
(Bar to Bar/Bar to Groun)

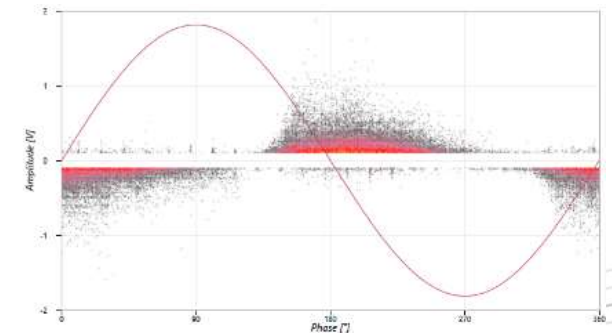
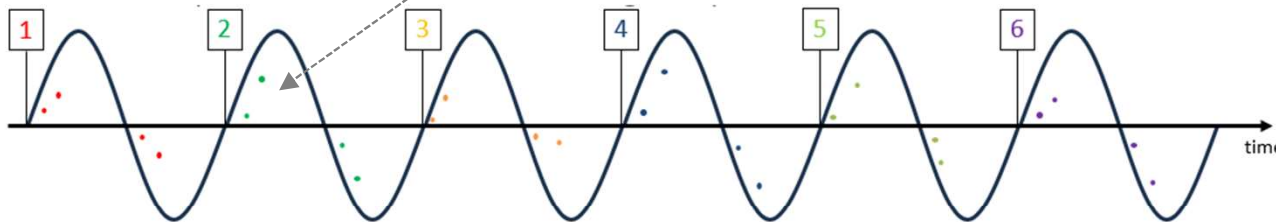
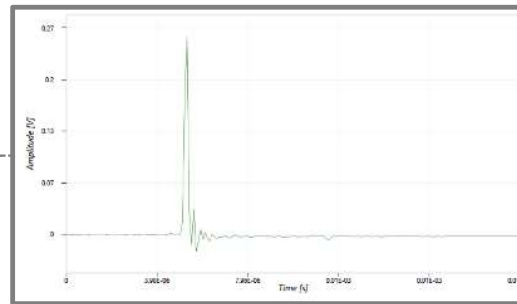
Fenomen PP



PRPD uzorak i polaritet

Proučavanje PRPDa (fazno razlučivog uzorka parcijalnog pražnjenja) je ključ napredne dijagnostike PP, znanje je potrebno kako bi se napravila ispravna interpretacija, kao i za ispravnu i kvalitetnu akviziciju podataka.

- Amplituda pulsa;
- Polaritet pulsa;
- Fazni kut.



Micropraznine (Microvoids)

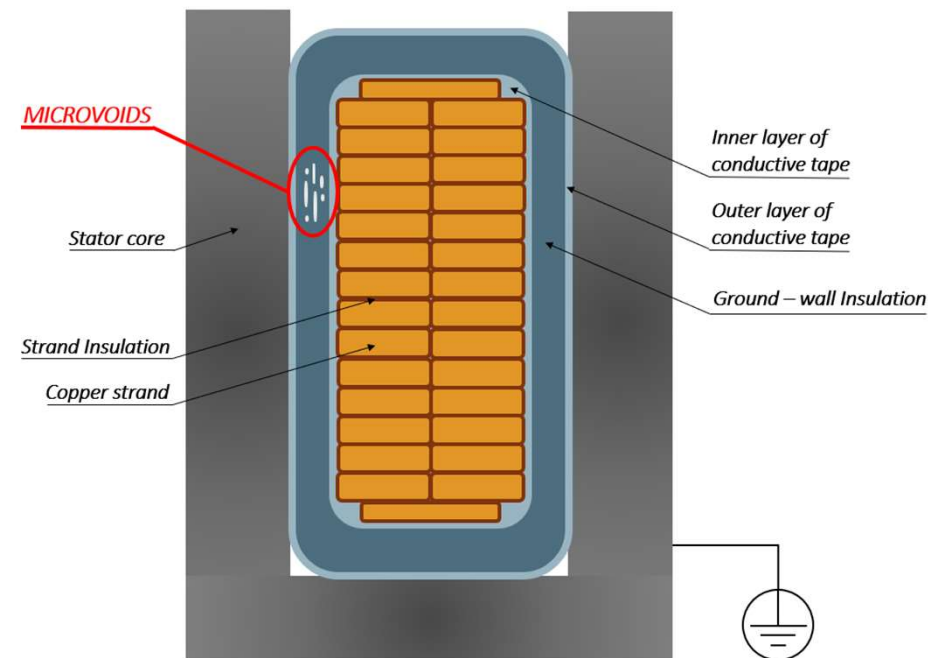
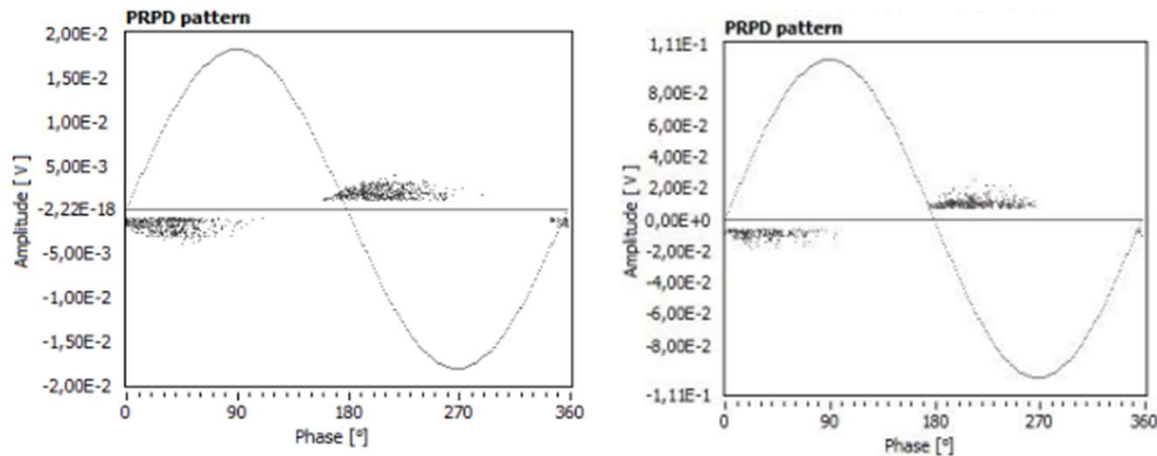


Defekti unutarnje izolacije (groundwall izolacije), koji se sastoje od malih šupljina. Očekuje se da će ova vrsta kvara biti prisutna u bilo kojem stroju zbog neizbježnih nesavršenosti u procesu impregnacije, od prvog dana rada do kraja životnog vijeka bez smanjenja očekivanog vijeka trajanja stroja.

Tipične karakteristike

- Simetrija PP + & PP -
- Pravilni intervali faznih kuteva;
- Niska amplituda;
- Trokutasti oblik.

* +/- odnosi se na amplitudu impulsa, a ne na primijenjeni napon



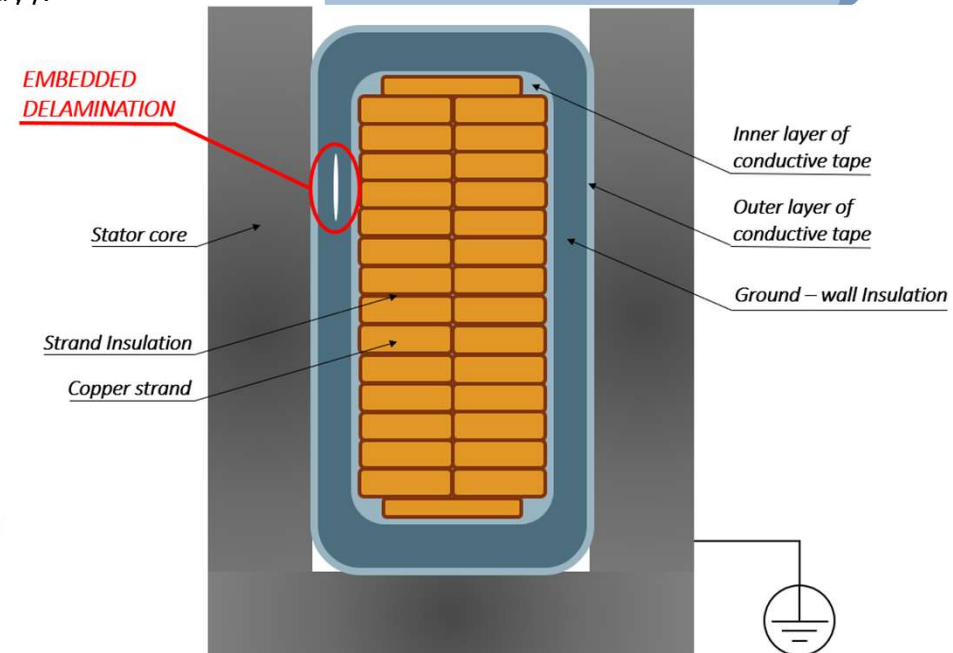
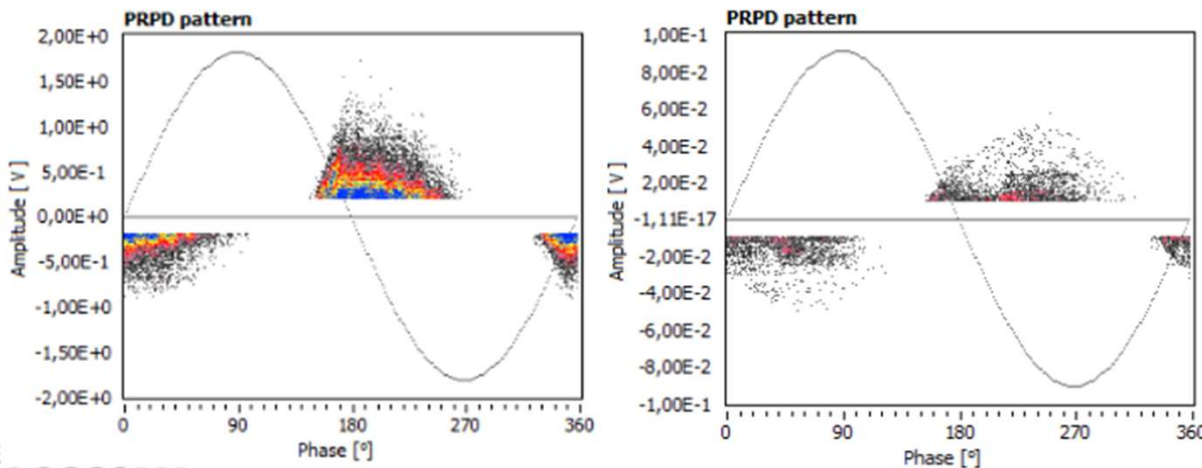
Ugrađena delaminacija (Embedded delamination)

Odvajanja između folija od tinjca (mica foils) unutar izolacije. To su ravne šupljine uzrokovane nesavršenim stvrdnjavanjem izolacijskog sustava tijekom proizvodnje ili mehaničkim ili toplinskim prenaprežanjem tijekom rada. Ova odvajanja (delaminacije) će smanjiti toplinsku vodljivost izolacije, što može dovesti do ubrzanog starenja ili toplinskog kvara (thermal runaway).

Tipične karakteristike:

- Simetrija PP + & PP -
- Veliki intervali faznih kutova;
- Trokutasti oblik;
- Početak prije prolaska kroz nulu;

* +/- odnosi se na amplitudu impulsa, a ne na primijenjeni napon



Delaminacija na strani vodiča (Conductor-Side Delamination)

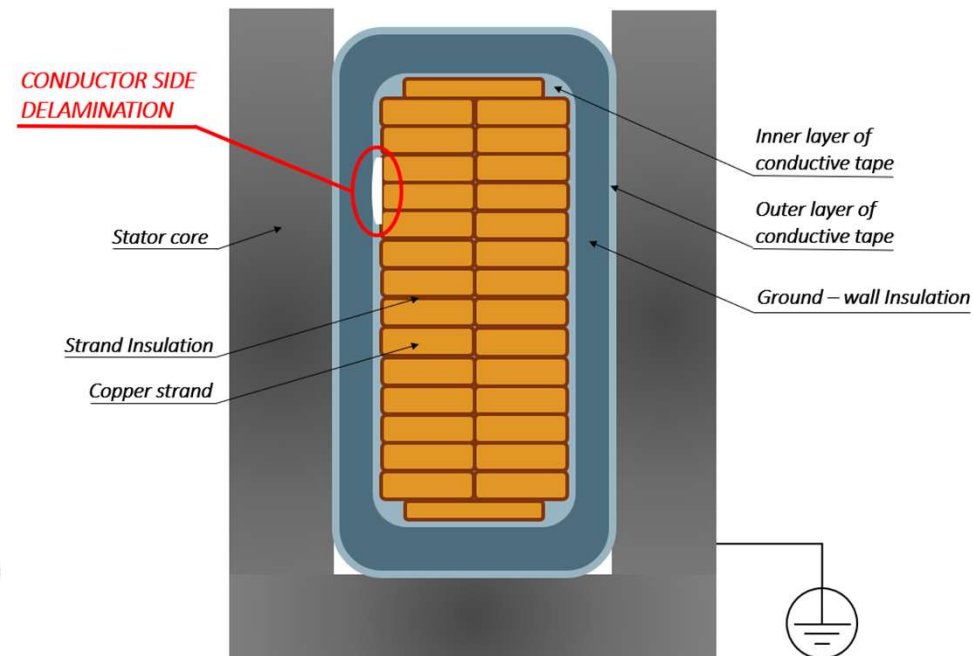
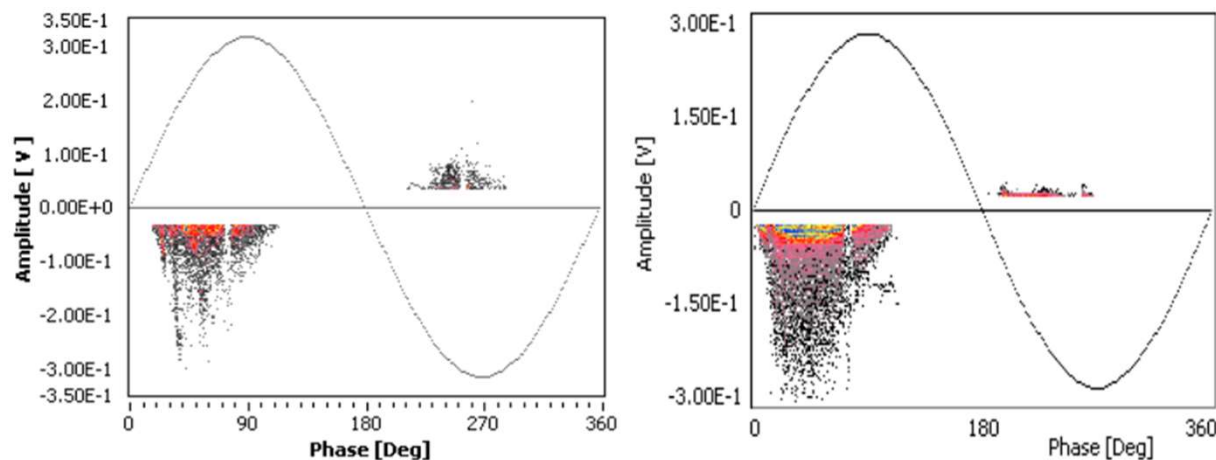


Odvajanje izolacije od VN elektrode (bakreni dio šipke). Ovi nedostaci se sastoje od postavljenih ravnih šupljina između VN elektrode i izolacije. Što se tiče ugrađenih, oni mogu dovesti do pregrijavanja (hotspot).

Tipične karakteristike

- PP - >> PP +;*
- Pravilni intervali faznih kuteva;*
- Započinje prije prolaska kroz nulu;*

** +/- odnosi se na amplitudu impulsa, a ne na primijenjeni napon*



Izboji u utorima (Slot Discharges)

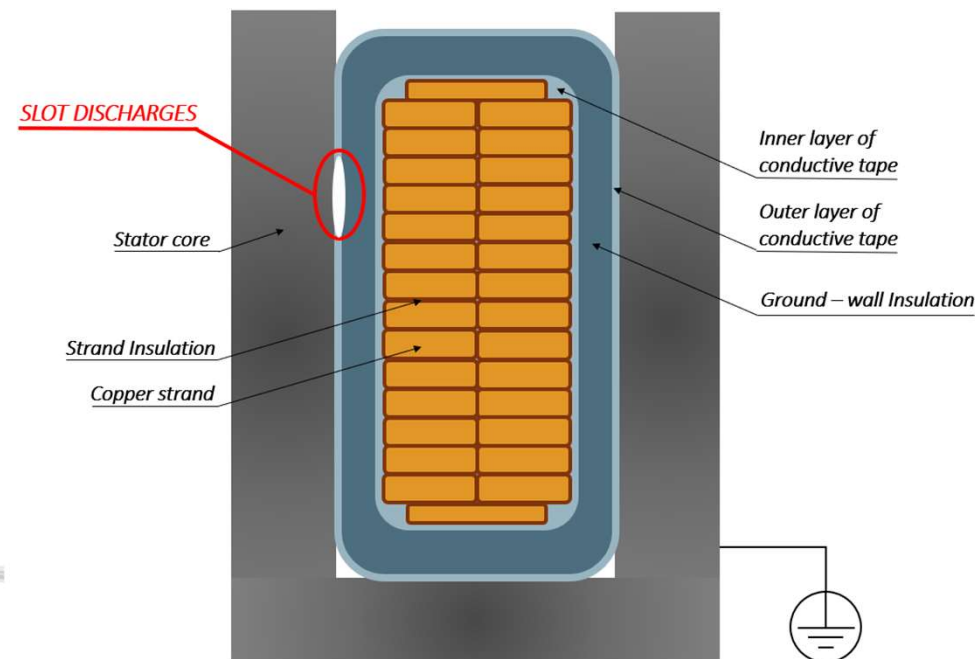
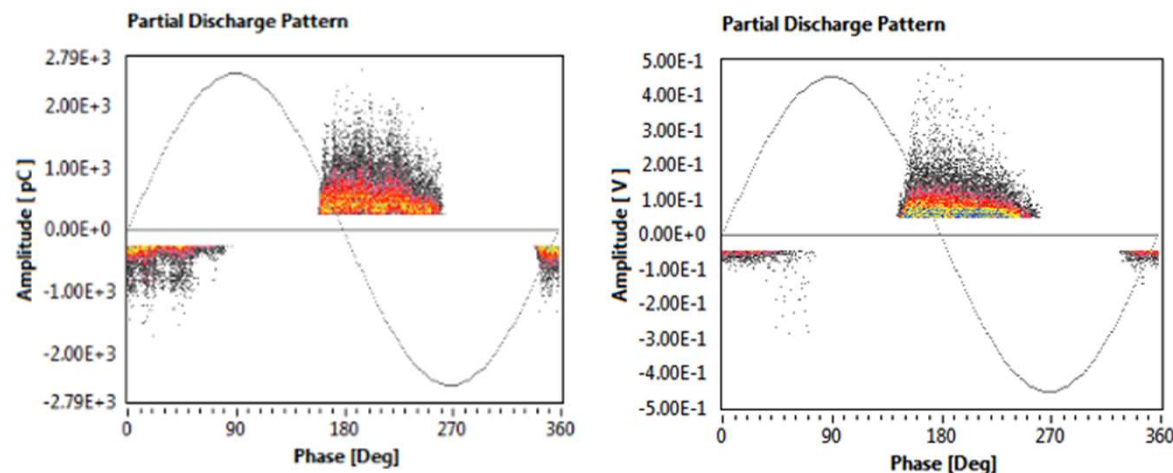


Pražnjenja između poluvodljivog sloja proreza i željezne jezgre statora. Nastaju kada je premaz oštećen zbog pomicanja šipke/zavojnice u utoru, na primjer erozijom, prekidima ili kemijskom kontaminacijom premaza. Najprije nagrizaju poluvodljivi sloj, a zatim izolaciju

Tipične karakteristike:

- $PP + \gg PI -$;
- Pravilni intervali faznih kuteva;
- Započinje prije prolaska kroz nulu;
- $PP + \text{max vrijednosti} \approx \text{prolazak kroz nulu}$

* +/- odnosi se na amplitudu impulsa, a ne na primijenjeni napon



Stress Grading

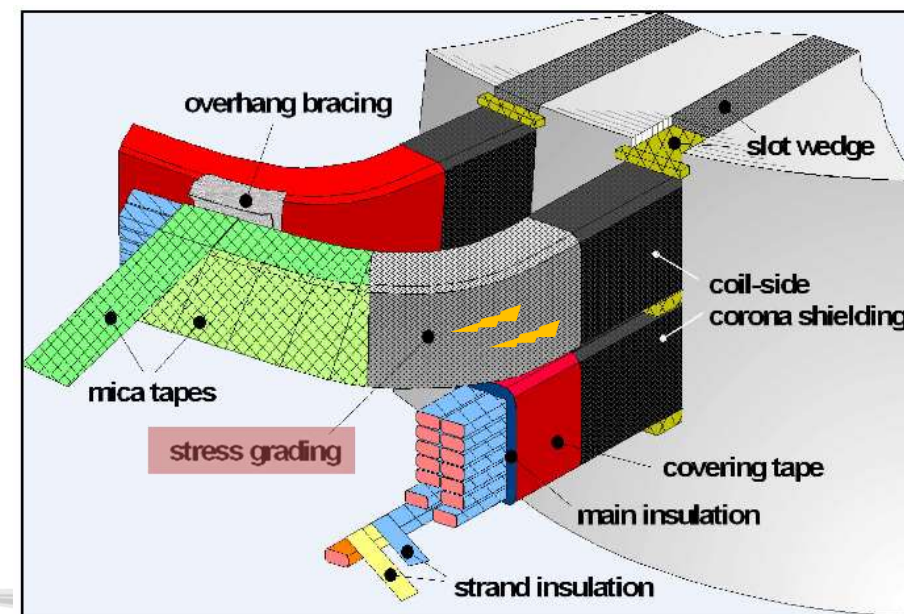
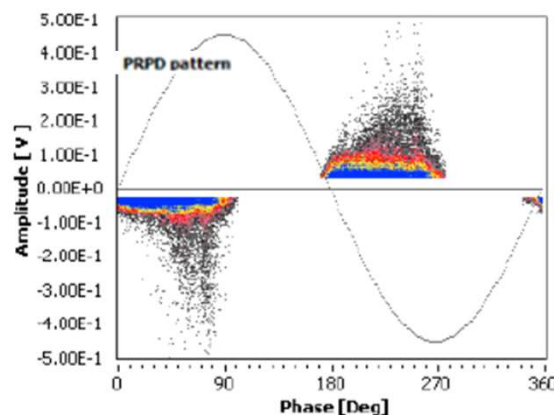
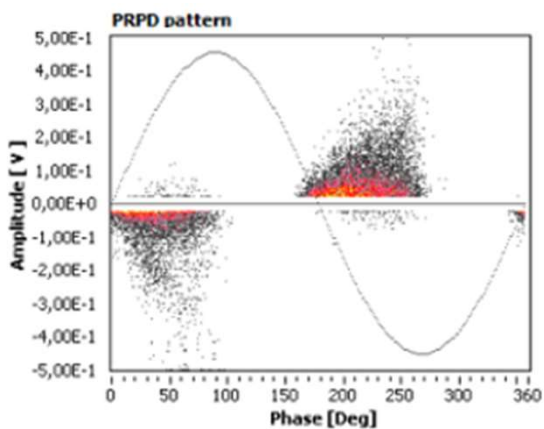


Pražnjenja koja se javljaju na sučelju između poluprovodljivog sloja utora i sloj za kontrolu naprezanja na izlazu utora u prisutnosti onečišćenja, kontaminacije ili degradacije. Ovo je obično spor mehanizam kvara čak i ako se ponašanje PP-a može brzo promijeniti zbog površinskih učinaka.

Tipične karakteristike:

- $PP+ > PP-$;
- Pravilnu intervali faznih kuteva;
- Zaobljeni oblik.

* +/- odnosi se na amplitudu impulsa, a ne na primijenjeni napon



Bar-to-Bar / Bar-to Ground



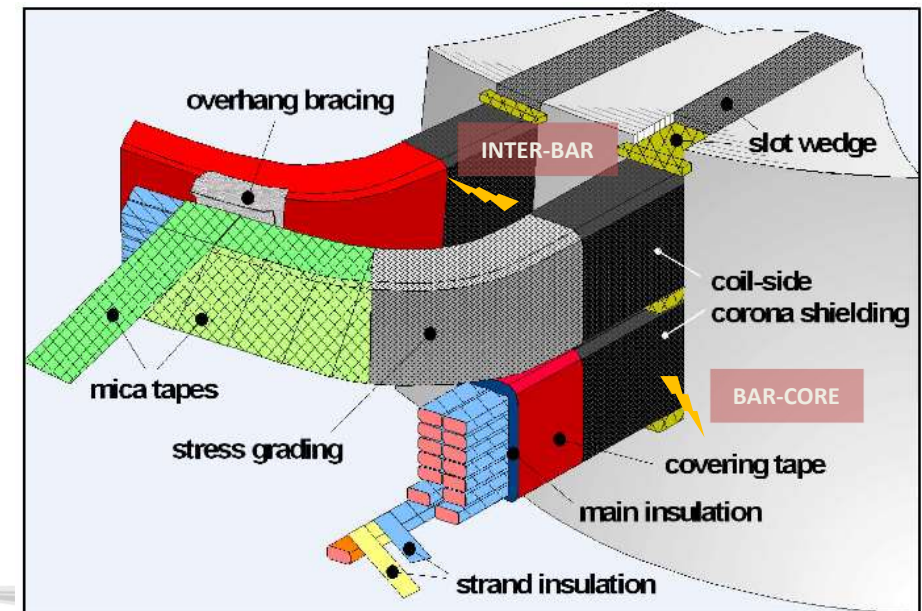
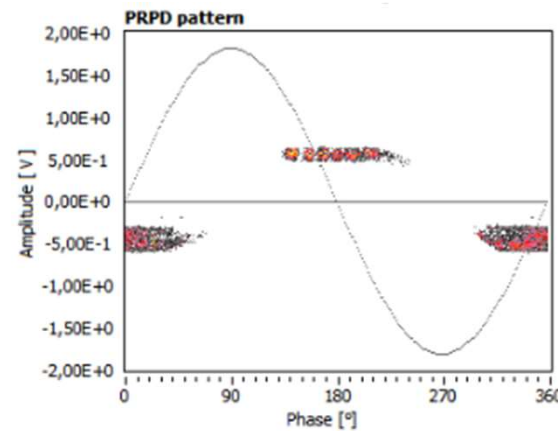
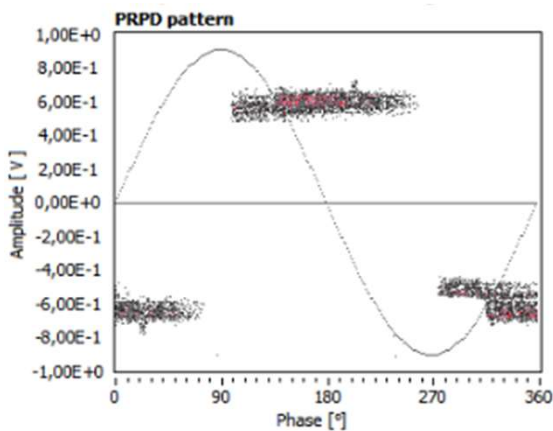
Ova pražnjenja nastaju u zračnom rasporu između šipke različitih faza ili između šipke i tla u prevjesu zbog neadekvatnog razmaka.

Oni mogu pokvariti izolacijski sustav brže od koronskih pražnjenja što dovodi do kvara na fazu/zemlju. Posebno bitna amplitude. Generalno manje štetno

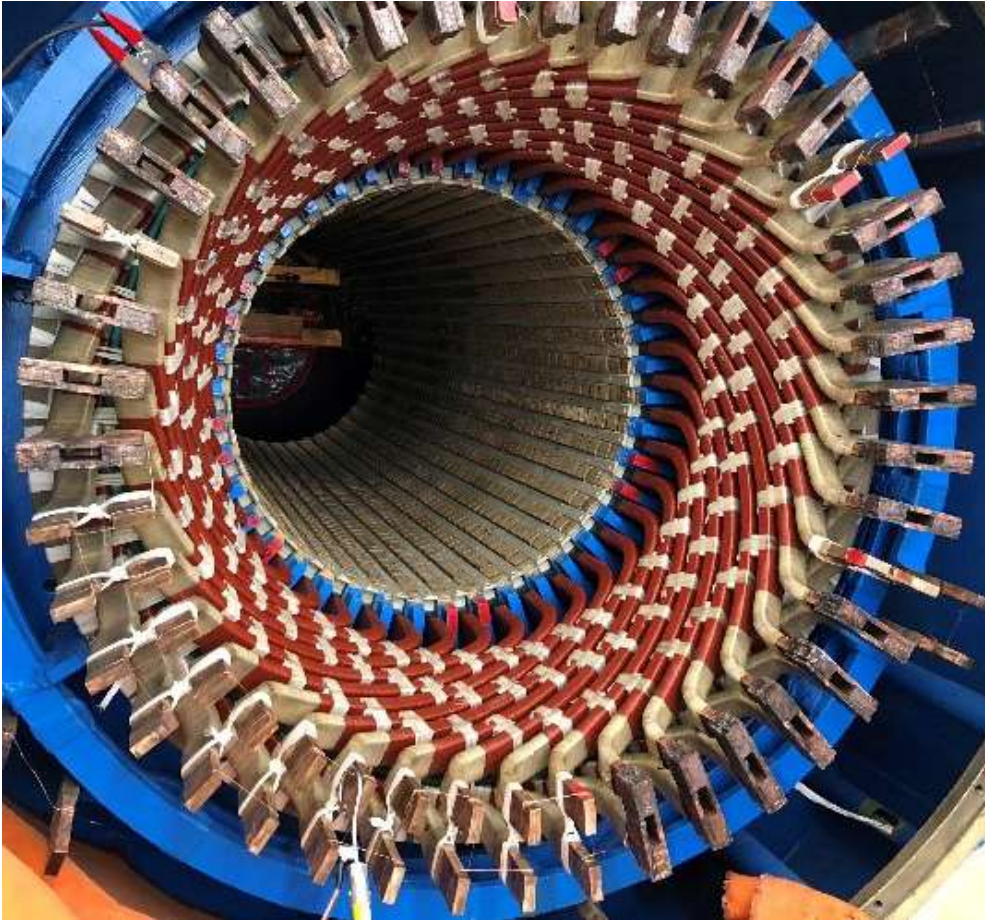
Tipične karakteristike:

- $PP+ \approx PP-$;
- Visoka stopa ponavljanja;
- «Pravokutni» oblici;
- Detached from trigger level.

* +/- odnosi se na amplitudu impulsa, a ne na primijenjeni napon



Šum i smetnje



- Šum i smetnje rotacijskih mašine
- Uzbuda i elektroničke komponente
- Preslušavanje
- Filtriranje hardware-om
- Filtriranje TF mapom (TF – Time – Frequency)

Šum i smetnje



Šum i smetnje rotacijskih mašina

Prilikom testiranja generatora moguće je detektirati mnogo različitih signala smetnje koji utječu na izolaciju zbog složenog uključenog električnog sustava, a neke od smetnji mogu se smatrati "klasičnim" i lako ih je prepoznati: smetnje uzbude, vanjske smetnje i preslušavanje.

- Nesinkronizirane smetnje (pobuda dizalice, rad električnog alata itd.);
- Sinkronizirane smetnje (PP iz vanjskih sredstava, loši električni spojevi itd.).

PRPD dozvoljava:

- Prepoznavanje naponskih koreliranih signala;*
- Identificirati korelaciju PP s odgovarajućim fazama;*
- Identificirati preslušavanje.*

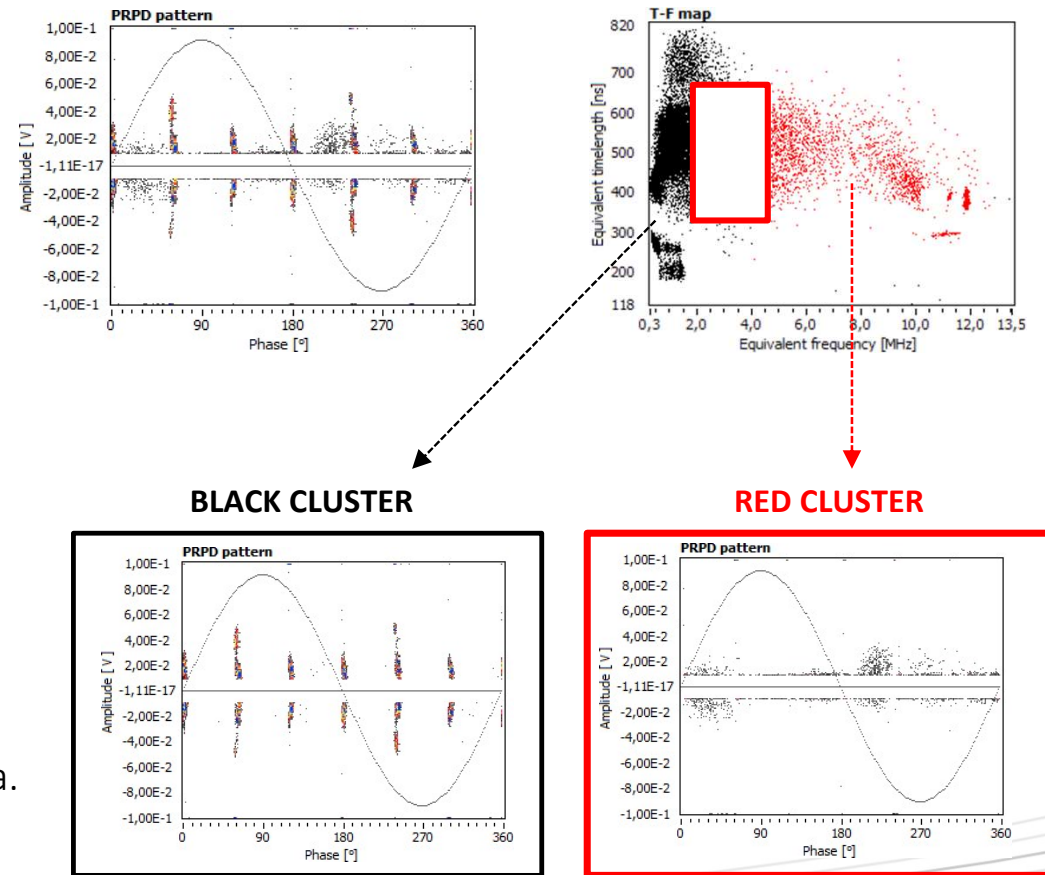
Šum i smetnje



Uzbuda i elektronika

Šum uzbude može biti vrlo neugodan i utjecati na očitavanja amplitude i brzine ponavljanja impulsa.

Signal je obično karakteriziran niskim frekvencijskom komponentom i može se filtrirati pomoću hardverskih filtera ili pomoću TF filterskog alata.



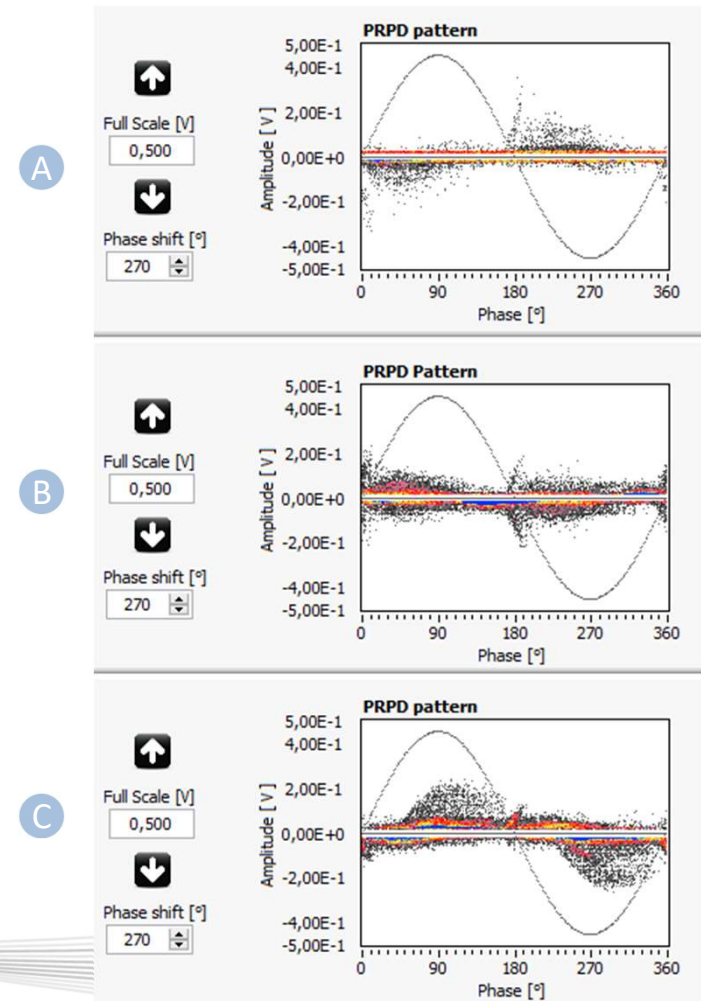
Šum i smetnje



Preslušavanje je vrlo česta pojava u RM jer su namoti tri faze izuzetno blizu jedan drugome.

Da bi se utvrdilo kojoj fazi pripada PD fenomen potrebno je:

- Postavite isti fazni pomak za sve tri faze;
- Provjerite amplitudu;
- Provjerite amplitudu.



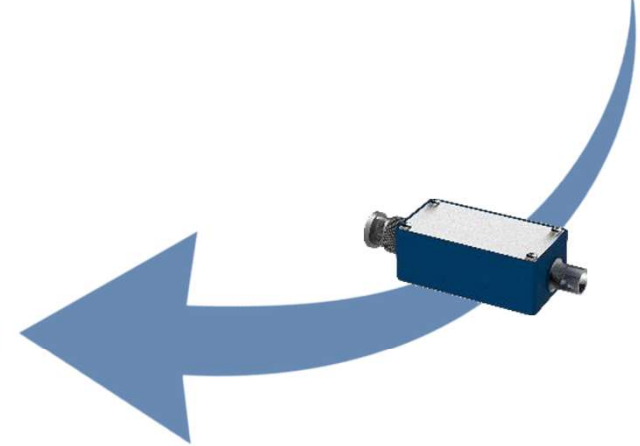
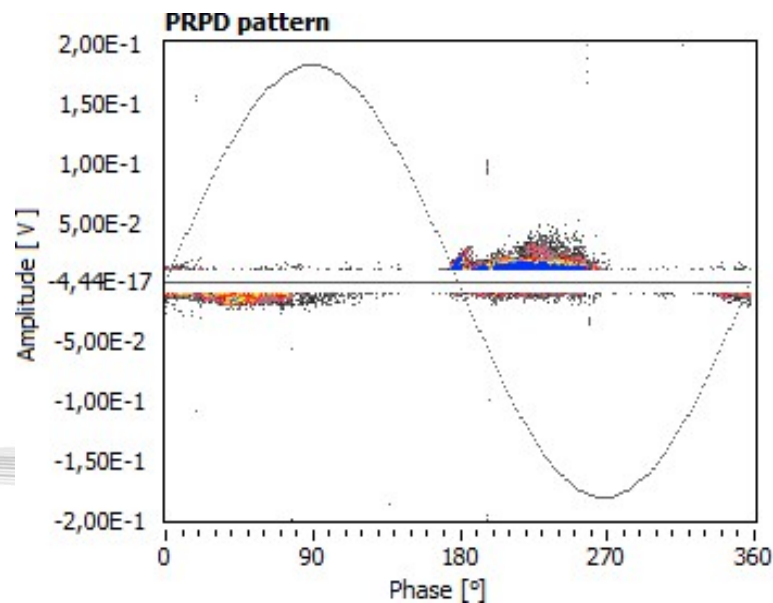
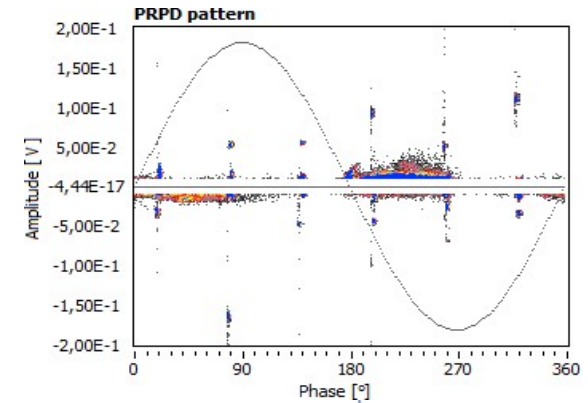
Šum i smetnje



Hardversko filtriranje

Moguće je ugraditi uređaje za kondicioniranje signala na izlaz senzora kako bi se :

- Uklonile smetnje niske frekvencije;
- Uklonile visokofrekventne smetnje;
- Napravio pojasni filtar ili prigušio postojeći signal.



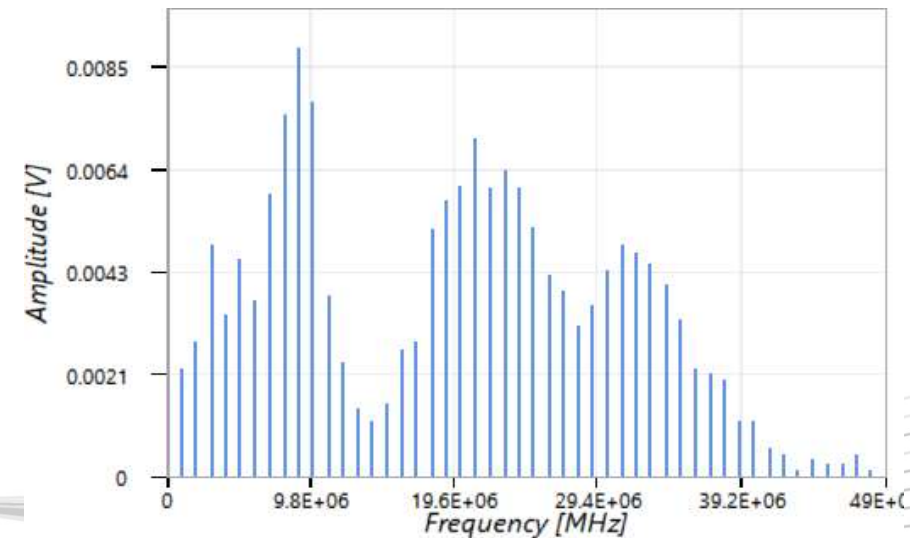
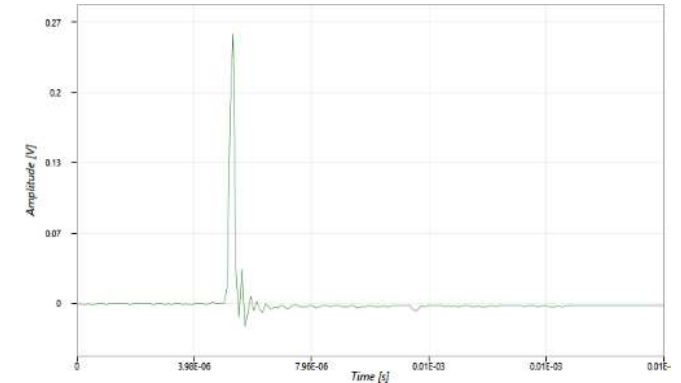
Šum i smetnje



TF mapa -Time-Frequency Map

Svake sekunde PD instrument dobiva tisuće impulsa; nemoguće je vizualizirati i provjeriti svaki pojedinačni visokofrekventni impuls PP, pa jedine dvije informacije koje se spremaju su amplituda i fazni kut.

Dobro je poznato da se visokofrekventni signali mogu proučavati iz frekvencijskog sadržaja, svaki signal se može vizualizirati sa svojim pulsним spektrom i takve informacije mogu se smatrati signalnim otiskom.

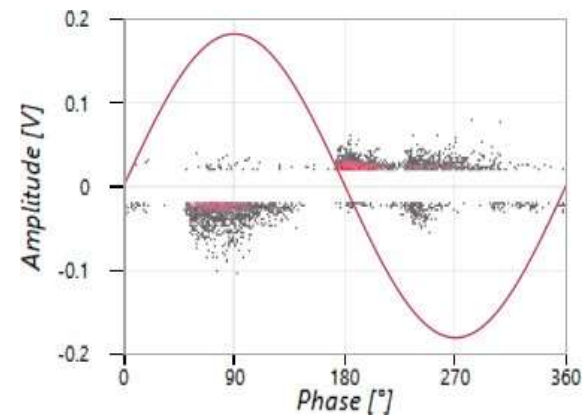
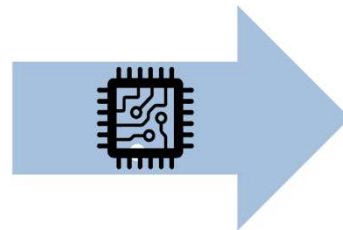
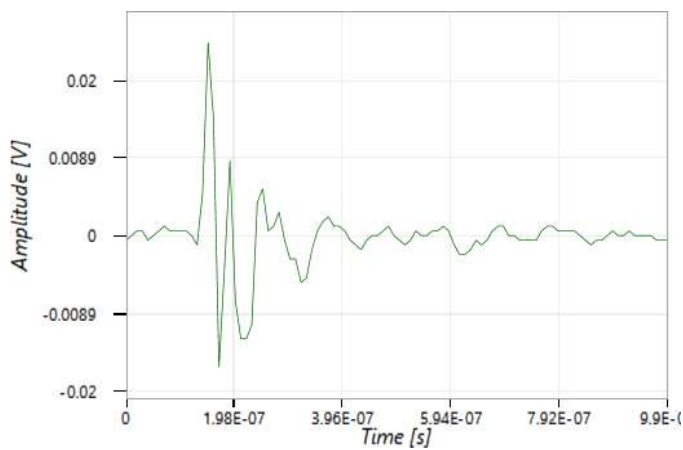


©2023 Doble Engineering Company. All Rights Reserved.

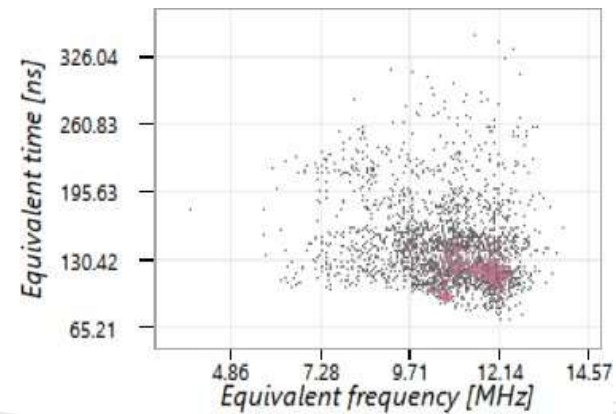
Šum i smetnje



TF Mapa



Amplituda pulsa i fazni kut
Fazno razriješen uzorak PP



*Ekvivalentna vremenska duljina
i ekvivalentna frekvencija*
T- F Mapa

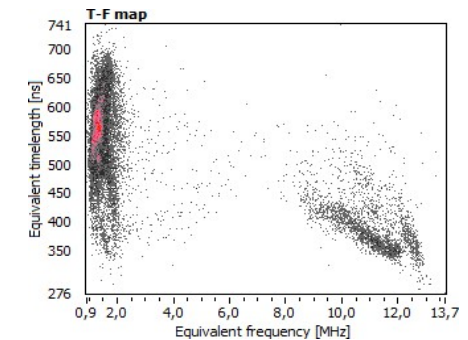
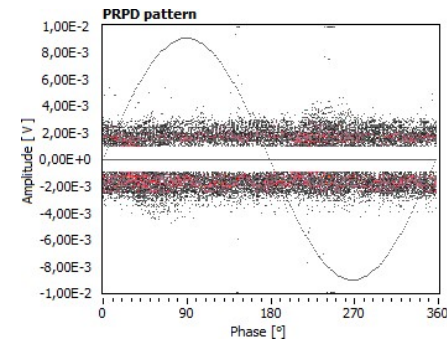
Šum i smetnje



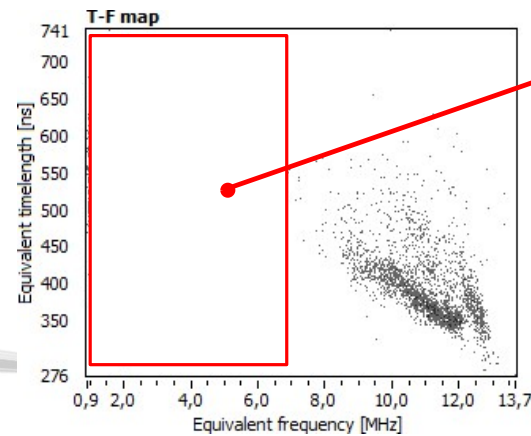
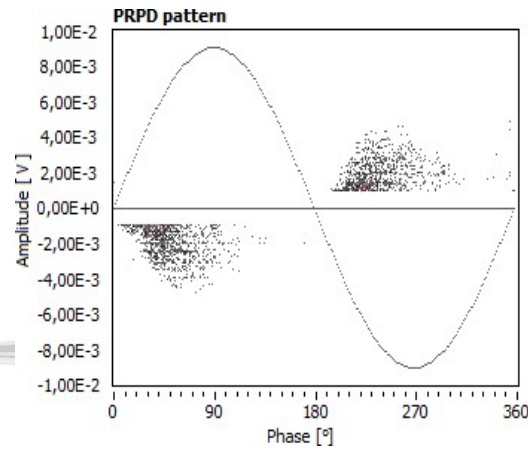
TF Mapa

Pomoću ovog pristupa možemo postaviti područja TF mape koja će biti filtrirana

PRIJE

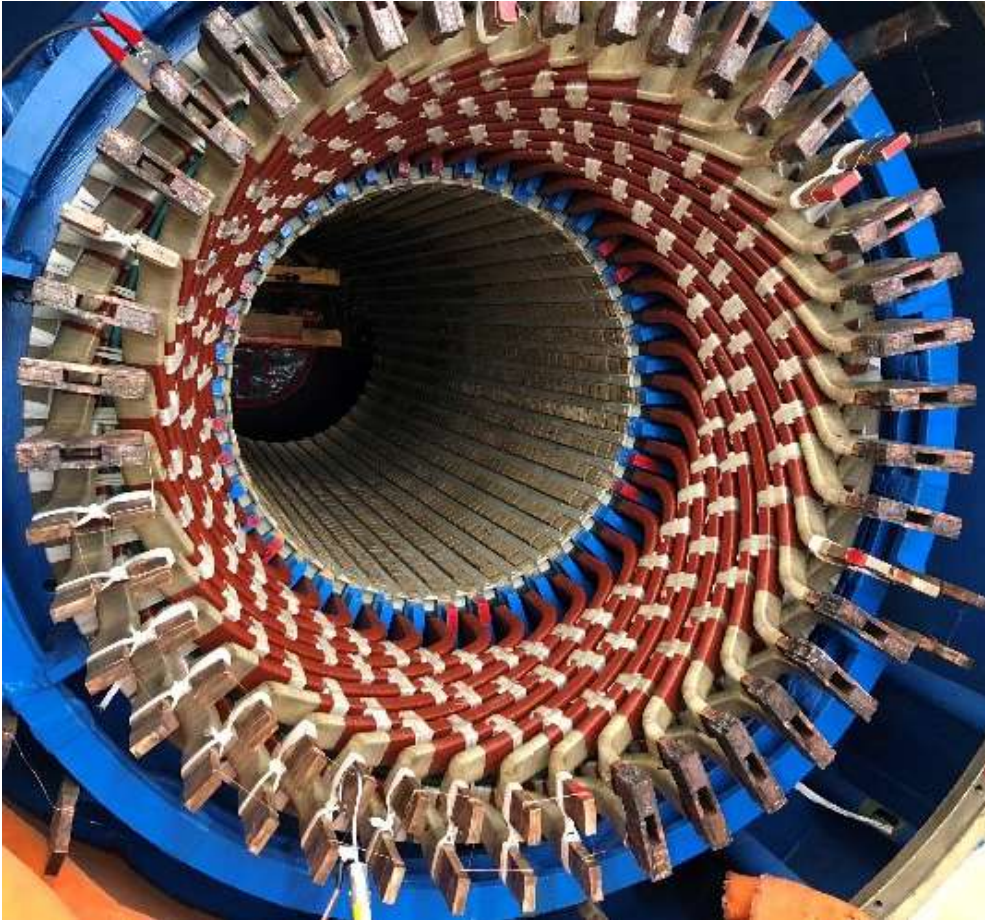


POSLIJE



*Softverski apliciran
filter na TF mapi*

Analiza PP



- Proces akvizicije signala
- Skupovi podataka
- Odvajanje pomoću TF mape
- Identifikacija pojedinačnog fenomena
- Trendiranje

Analiza PP



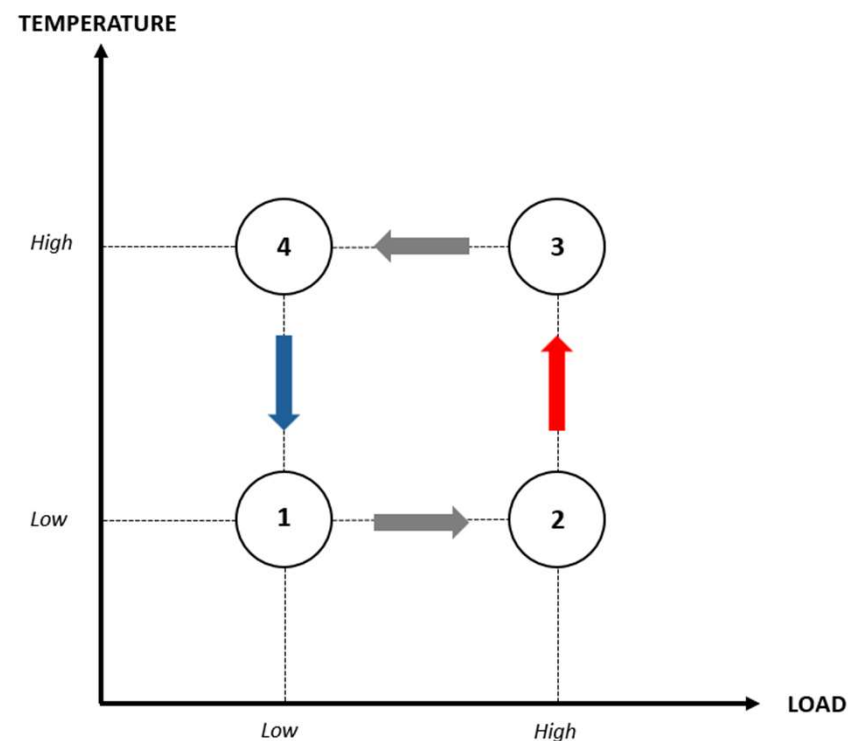
Proces akvizicije podataka

PD analiza počinje tijekom procesa akvizicije, pravilna sesija akvizicije mora pružiti sljedeće podatke i informacije koji se koriste tijekom analize :

- ❑ Podaci o PD signalima visoke amplitude;
- ❑ Podaci o PD signalima niske amplitude;
- ❑ Radni parametri stroja (opterećenje i T).

Tijekom PD sesije također se predlaže korištenje:

- ❑ Različite vremenske duljine;
- ❑ Različiti predokidači;
- ❑ HW filtriranje.

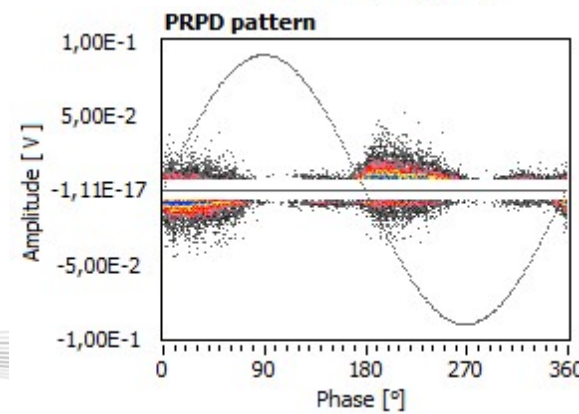
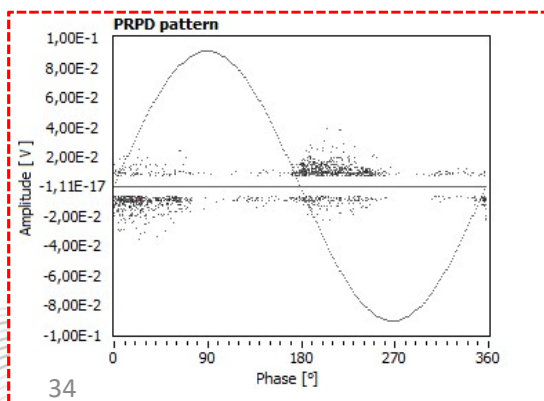
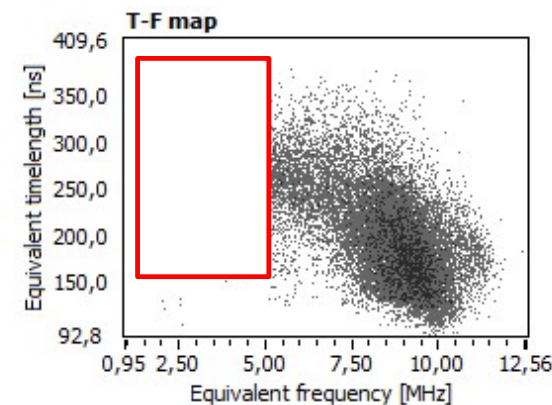
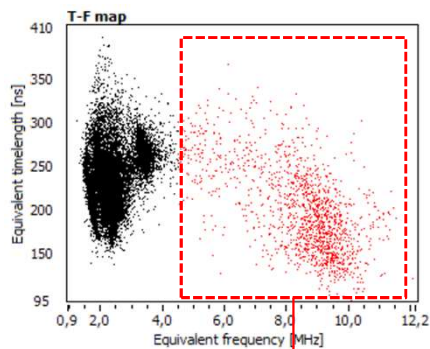
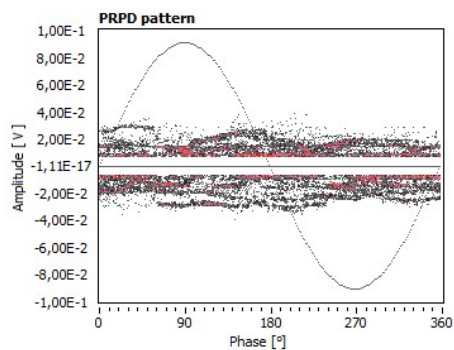


Analiza PP



Proces akvizicije podataka

Signali PP klasično se prikazuju na osnovi amplitude, ali ako se ne koriste daljnji alati za filtriranje, izlaz mjerenja PP bit će fokusiran samo na signale najveće amplitude.



Analiza PP

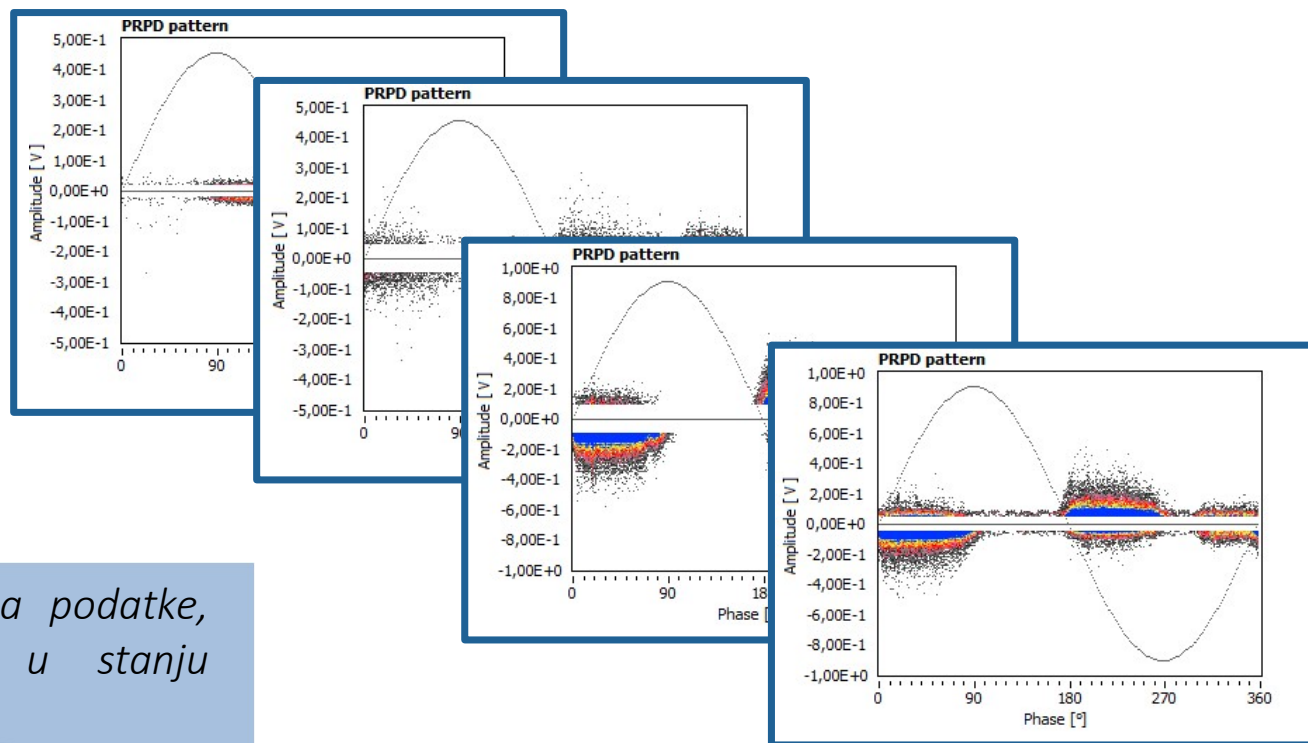


Skupovi podataka

Za svaku točku koju ispituje snažno se preporuča dobiti ne samo 1 PRPD uzorak već cijeli niz

podaci uključujući:

- Različiti Full scale
- Različiti Trigger level
- Akvizicija valnog oblika
- Sa i bez HW filtera
- Sa i bez SW filtera



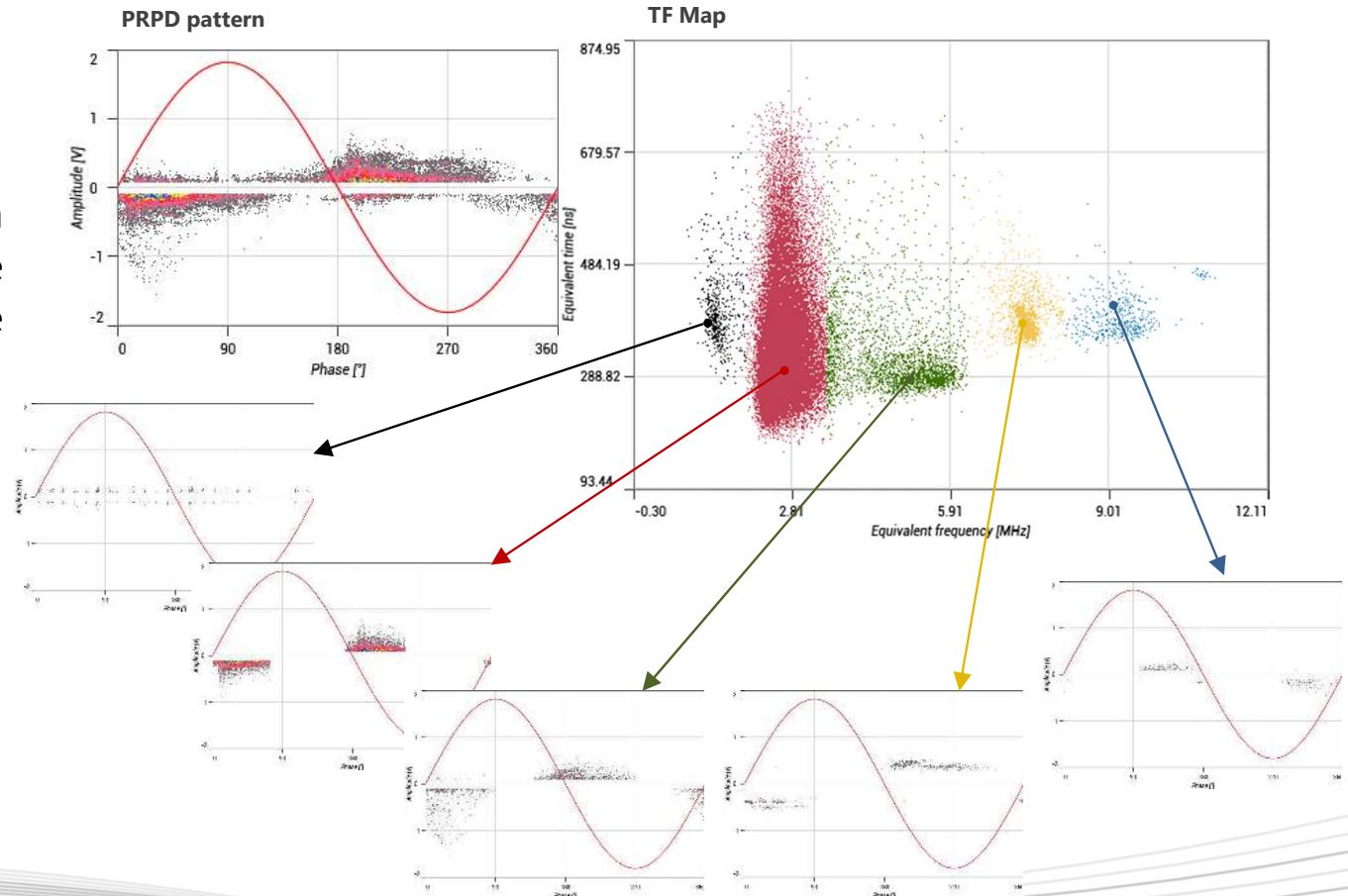
U idealnom slučaju kada proučava podatke, analitičar podataka mora biti u stanju prepoznati svaki izvršeni korak.

Analiza PP



Odvajanje izvora PP pomću TF Mape

TF mapa se koristi tijekom akvizicije za uklanjanje neželjenih signala te se može koristiti tijekom analize za odvajanje različitih izvora PD prisutnih u akviziciji



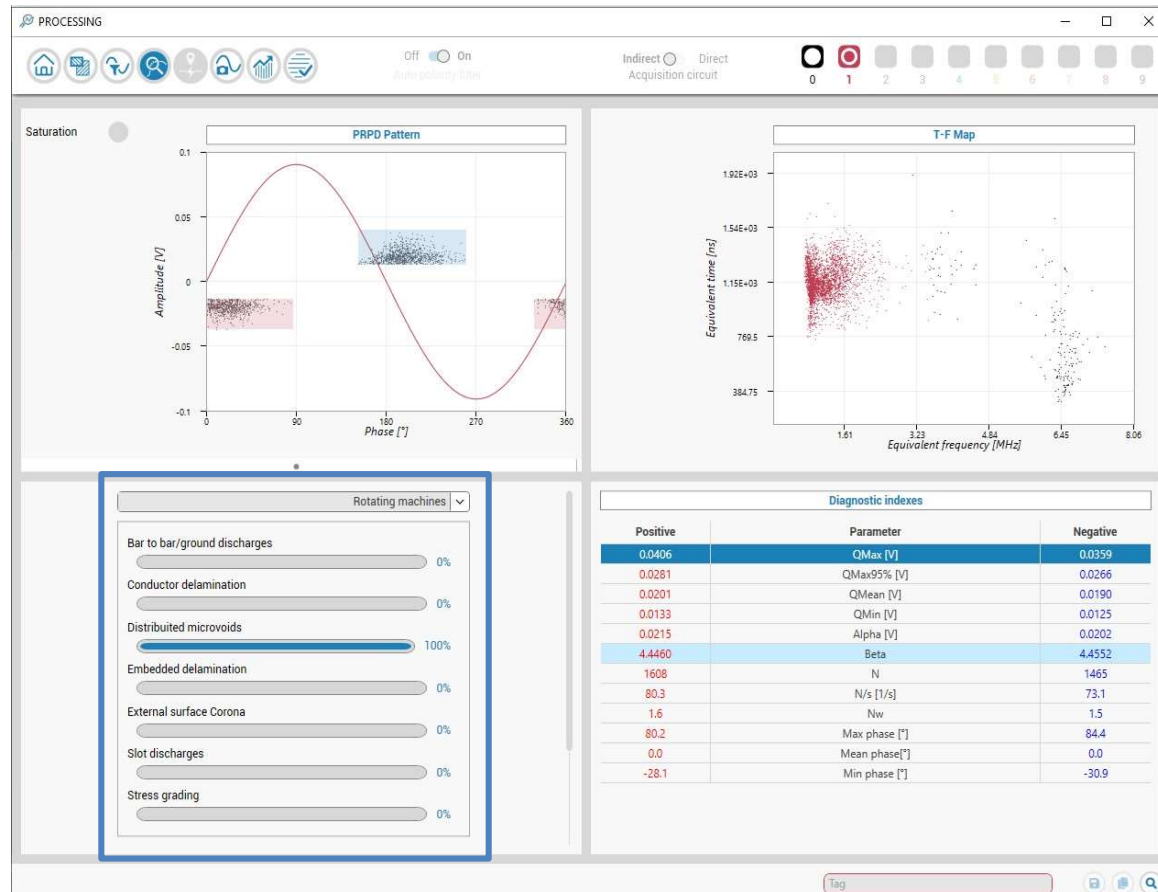
Analiza PP



Identifikacija fenomena

- Ispravno prikupljenje podataka
- Eliminacija šuma
- Separacija izvora PP

Identifikacija PP-a može se provesti: ručnom analizom uzorka PRPD-a i [PD Pro identification tool](#).

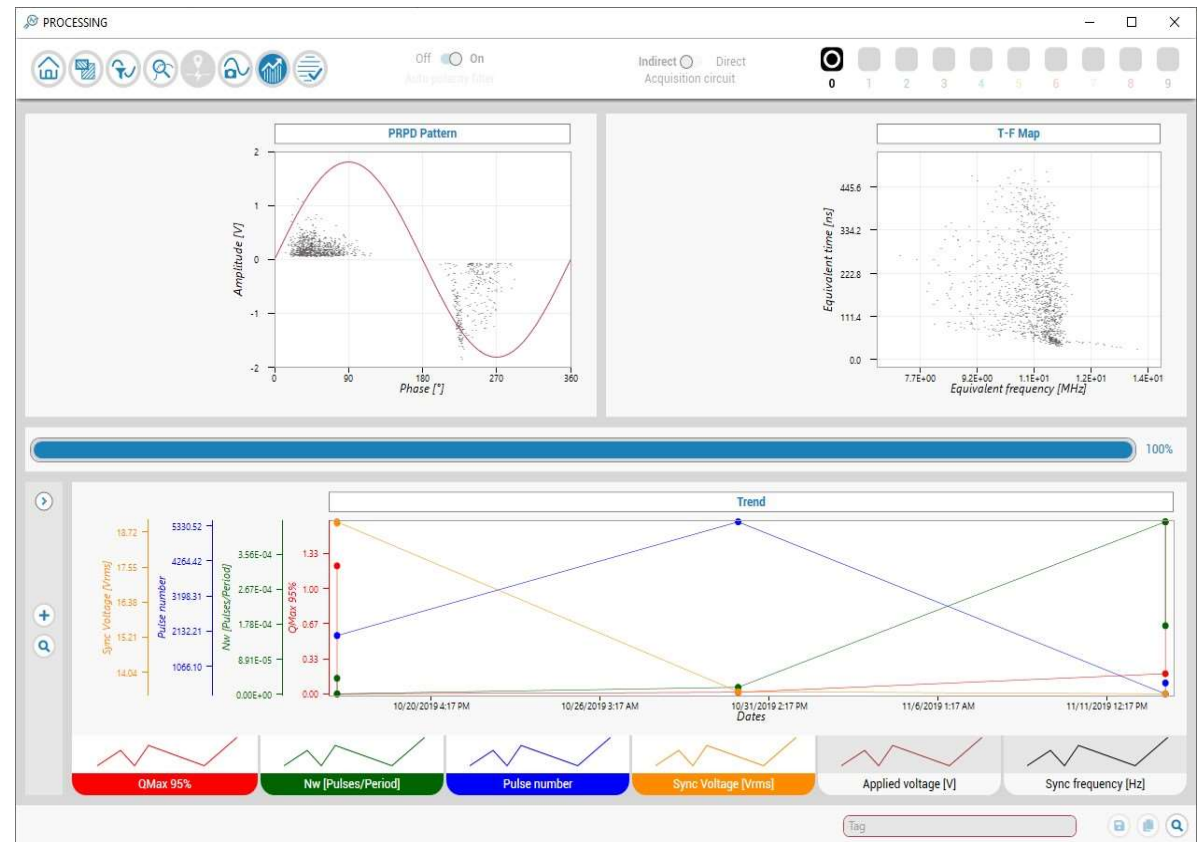


Analiza PP



Trendiranje

Amplituda i stopa ponavljanja markeri su evolucije PP-a: možemo imati PP koji traje godinama na istim razinama ili brzo evoluira u amplitudi i brzini ponavljanja



Senzori korišteni za ispitivanje PP na RM



- Kako detektirati signal
- Tipologije senzora
- Zahtjevi senzora
- Pozicioniranje senzora
- Signali i sigurnost

Senzori korišteni za ispitvanje PP na RM



Kako detektirati signal

Lokalizirani nedostaci izolacije stvaraju signale PP kada su podvrgnuti električnom naprezanju: fenomen je izvor visokofrekventnih elektromagnetskih signala i radijaciskih signala.

Signalni put može se unijeti u senzor i mjeriti dok se ozračeni signal podvrgava dizajnu generatora koji može prigušiti i utjecati na osjetljivost.

Different sensors:

- *Different PD output*
- *Sensitivity*
- *Sync signal*

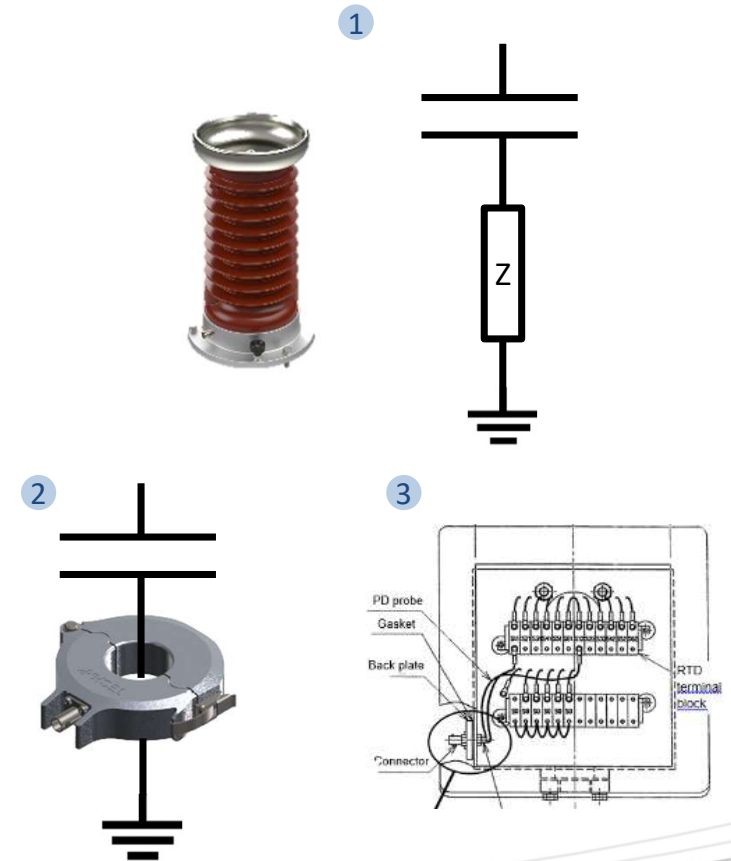
Senzori korišteni za ispitivanje PP na RM



Tipologija Senzora

Najpopularniji senzor su kapacitivni spojnici, spojeni na namote stroja, zatim se mjeri signal PP:

1. Kao pad napona na određenoj impedanciji;
2. Strujnim transformatorima;
3. Koriste se i senzori s utorima: instalirani blizu namota za hvatanje ozračenog signala PP.



Senzori korišteni za ispitvanje PP na RM



Tipologija Senzora

| | Kapacitivni | Visokofrekventni Strujni Transformator | Antene |
|------------------------------------|---------------|--|---------------------------|
| <i>Osjetljivost</i> | Visoka | Niska | Lokalno vrlo visoka |
| <i>Instalacija</i> | Srednji napor | Srednji napor | Visoki napor (1 po utoru) |
| <i>Sigurnost</i> | Srednja | Vrlo visoka | Visoka |
| <i>Signal sinhroizacije</i> | DA | NE | NE |
| <i>Princip povezivanja</i> | Vođeni signal | Inducirani signal | Zračeni signal |

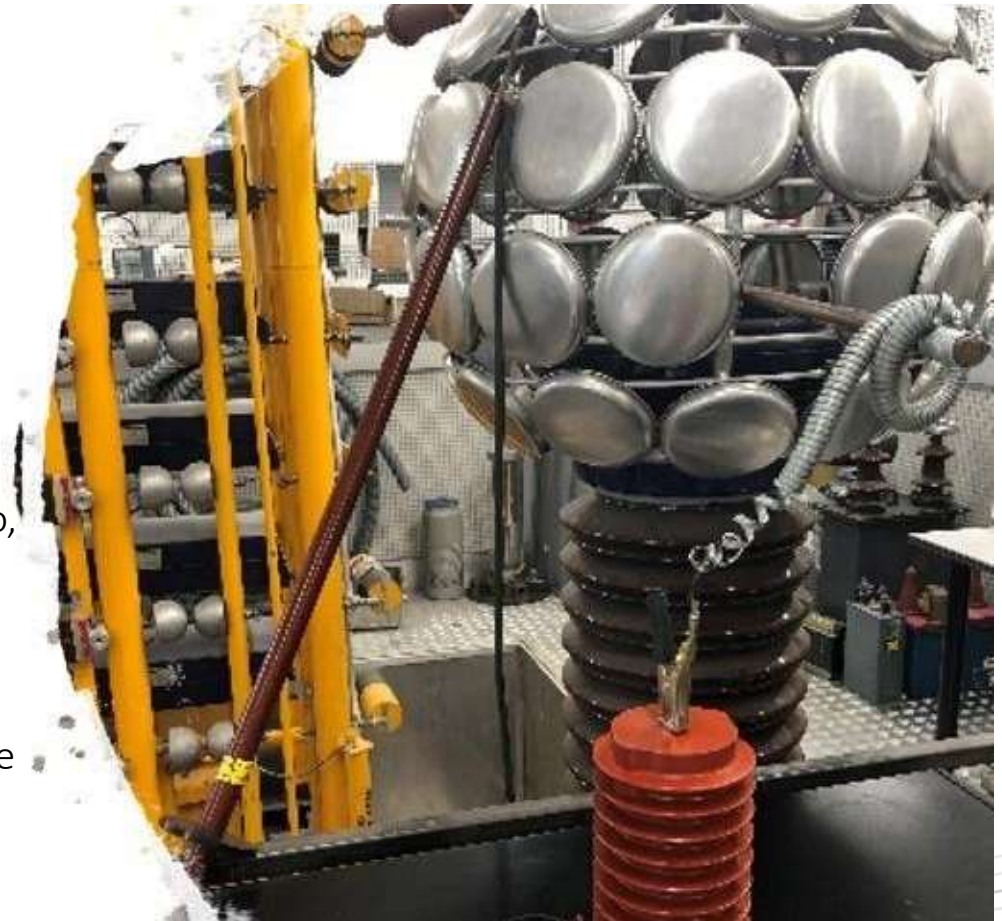
Senzori korišteni za ispitivanje PP na RM



Zahtjevi Senzora

Stalni senzori za PP će se instalirati na VN rotirajući stroj, prvi zahtjev je izbjegavanje bilo kakvog rizika od kvara za opremu koja se nadzire :

- ❑ Ispitivanje stresa senzora (impulsivno ispitivanje, toplinsko, dugotrajno HVAC);
- ❑ Svaki senzor podvrgnut testu izdrživosti na 3x nominalni napon;
- ❑ Potvrda da je svaki senzor PD free @rated voltage after pres-stress session;
- ❑ Omjer kapaciteta i napona ispitan s malim vrijednostima tolerancije.



Senzori korišteni za ispitivanje PP na RM



PD COUPLERS 7KV 1000pF

Idealno rješenje za motore od 6,6 kV, ograničeni prostor potreban za instalaciju, svjetlosni senzor, komplet za trajnu instalaciju dolazi s derivacijskom kutijom (ip 68 po izboru), signalnim kabelima i kompletom za VN priključak.



PD COUPLERS 12/17/24KV 1000pF

3 različite klase napona 12kV, 17,5 i 24kV. Na klase napona utječu puzne staze (creepage distances) potrebne za različite klase, dimenzije senzora ovise o takvoj udaljenosti

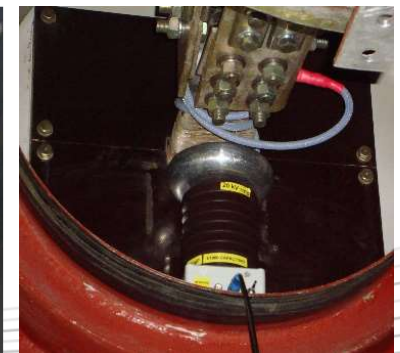
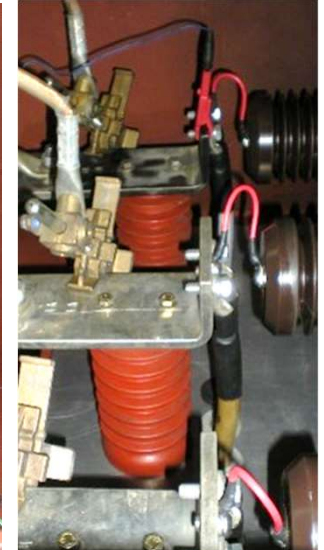
Senzori korišteni za ispitivanje PP na RM



Pozicioniranje Senzora

Senzori PP su instalirani u zonama opasnosti i rizik od kvarova mora biti minimalan.

- Metalni dijelovi moraju biti nemagnetski;
- Sustav senzora PP ne smije smanjiti izolacijske sposobnosti statora;
- Treba uzeti u obzir temperaturno i vibracijsko opterećenje senzora;
- Izbjeći koronu i površinsko PP



Senzori korišteni za ispitivanje PP na RM



Signal i sigurnost

Koaksijalni kabeli koriste se za dovođenje signala do derivacijske kutije.

Derivacijska kutija potrebna je ne samo za dobivanje PP & sinkronizacijskog signala od senzora, već povećava sigurnost cijelog sustava dodavanjem pasivne sigurnosti na strani derivacijske kutije



On-line vs Off-line



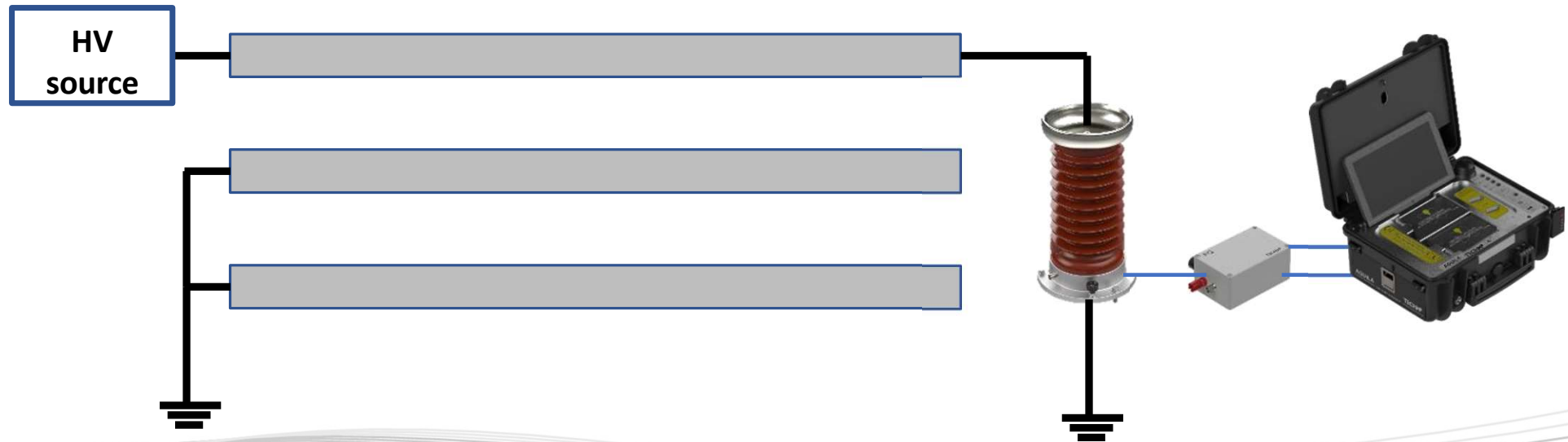
- Offline test PP
- Online test PP
- Tehnička usporedba
- Praktična usporedba

On-line vs Off-line



Off-line test PP

Off-line test PP odnosi se na mjerenje PP koje se izvodi tijekom odspajanja RM (remonti), koristeći vanjski izvor napona (cijena, logistika), PP senzor se može privremeno instalirati i ukloniti nakon testa.



On-line vs Off-line



Off-line test PP

U offline testu PP moramo uzeti u obzir nekoliko tehničkih aspekata:

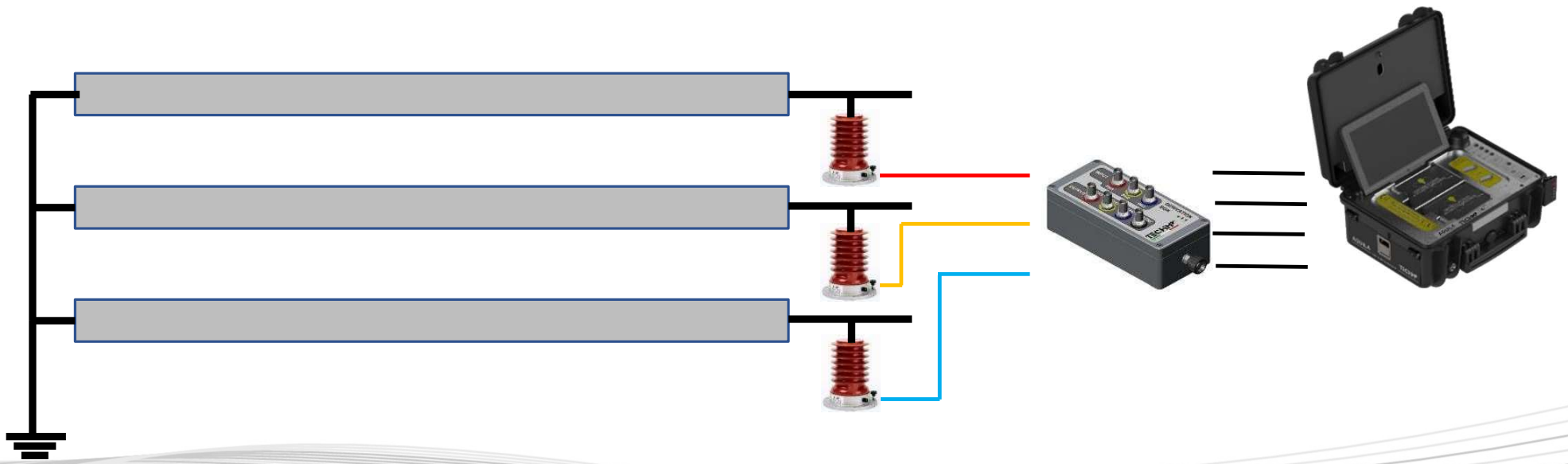
- Samo faza prema zemlji, konstanta duž namota;
- Nepokretan, nema promjene temperature tijekom ispitivanja;
- Mirno, ispitivanje ne uzima u obzir mehaničko ponašanje;
- Ispitivanje fazu po fazu;
- Izvor napona ne smije sadržavati signale PP;
- PDIV & PDEV evaluacija;
- Prenaprezanje izolacije.

On-line vs Off-line

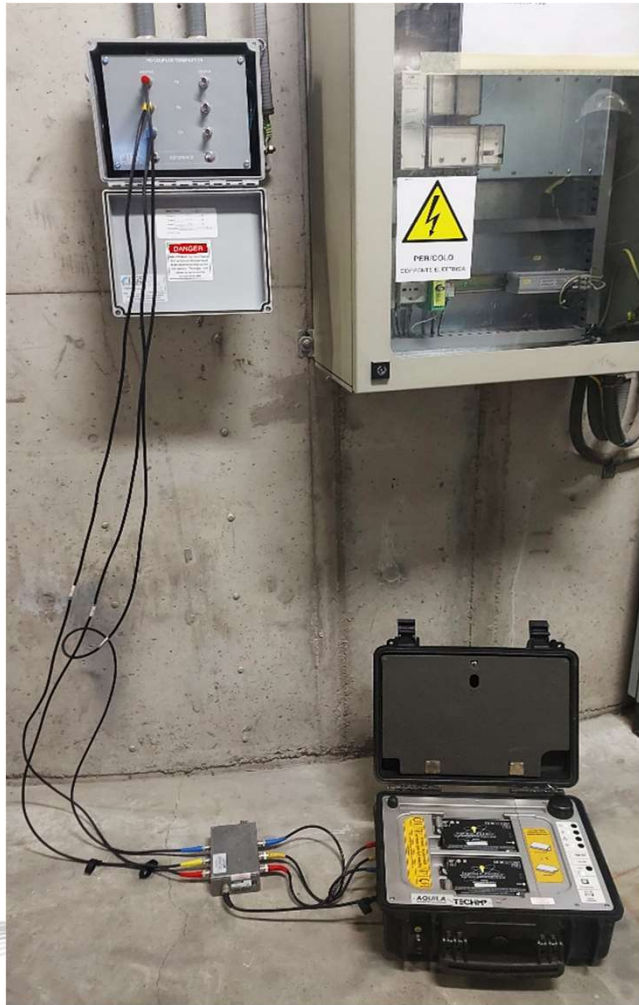


Online test PP

Online test PP se izvodi dok stroj radi, u uvjetima opterećenja, potreban je stalni senzor, također je moguće privremeno instalirati senzore PP uz poduzimanje strogih mjera opreza i planiranje prekida rada.



On-line vs Off-line



Online test PP

U online PD testu moramo uzeti u obzir nekoliko tehničkih aspekata:

- Standardno naprezanje;
- Različita opterećenja i različite temperature;
- Učinci preslušavanja;
- Vanjske smetnje;
- Trofazni – Simultano se ispitiuju sve 3 faze;
- Stalni senzori;
- Sigurno ispitivanje.

On-line vs Off-line



Tehnička usporedba

| | Offline | Online |
|---|------------------------------------|---|
| <i>Potrebni stalni senzori</i> | NE | DA |
| <i>Efekt preslušavanja</i> | NE | DA |
| <i>Stvarno naprezanje (stres i opterećenje)</i> | NE | DA |
| <i>Korelacija povijesnih podataka</i> | Ovisno o senzoru i mjernom uređaju | Isti senzori Ovisi o mjernom uređaju |
| <i>TEAM stress</i> | NE | DA |

On-line vs Off-line



Praktična usporedba

| | Offline | On line |
|--|------------------------------------|---|
| Cijena | Visoka | Niska |
| Involviranost i trud klijenta | Visoka | Visoka |
| Potrebno odspajanje | DA | NE |
| Senzori PP | Odgovornost ispitivača | Kompatibilnost senzora |
| Sigurnost | Potencijalne opasnosti | Sigurno ispitivanje |
| Naprezanje | Primijene različitih razina napona | Električno Temperaturno – Promjene opterećenja |
| Uključen operativni odjel | DA | NE |
| Potreban materijal | VN izvor, senzori, mjerni uređaj | Mjerni uređaj |



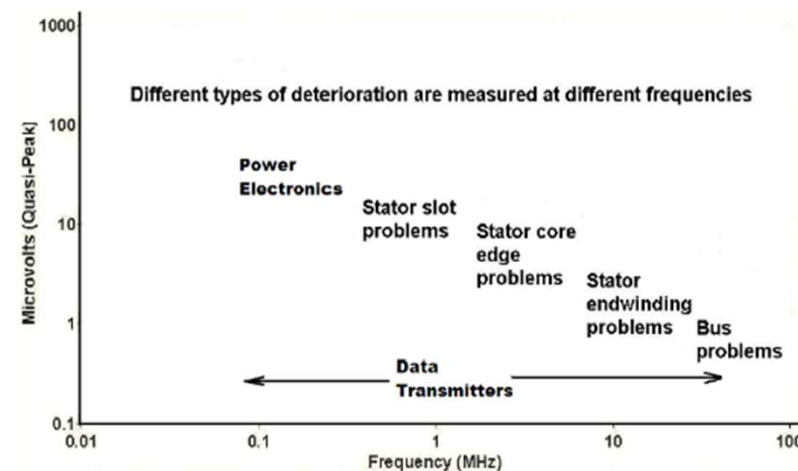
ELEKTRO-MAGNETSKA INTERFERENCIJA (EMI)

EMI Ispitivanje



EMI je analiza frekvencijske domene od 50 kHz do 100 MHz koja može prikupiti elektromagnetske signale koje proizvode EUT i vanjsko okruženje.

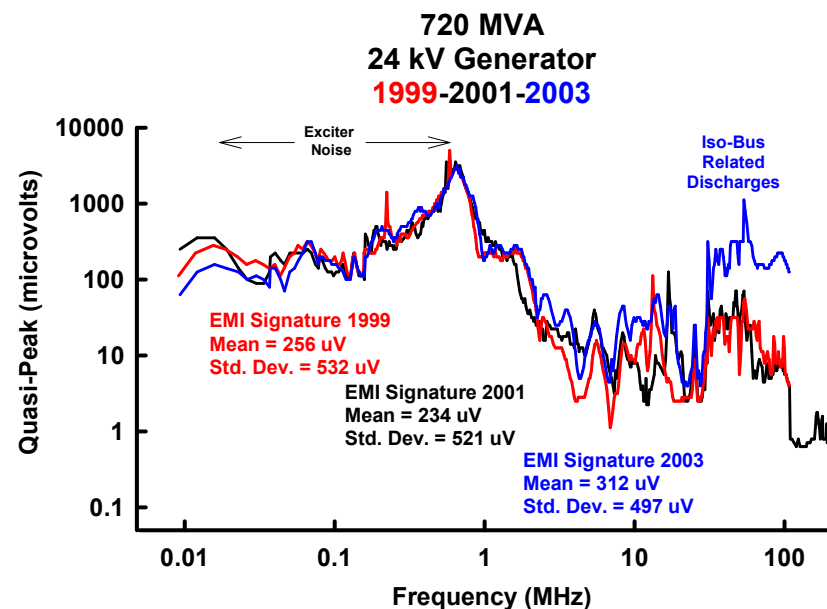
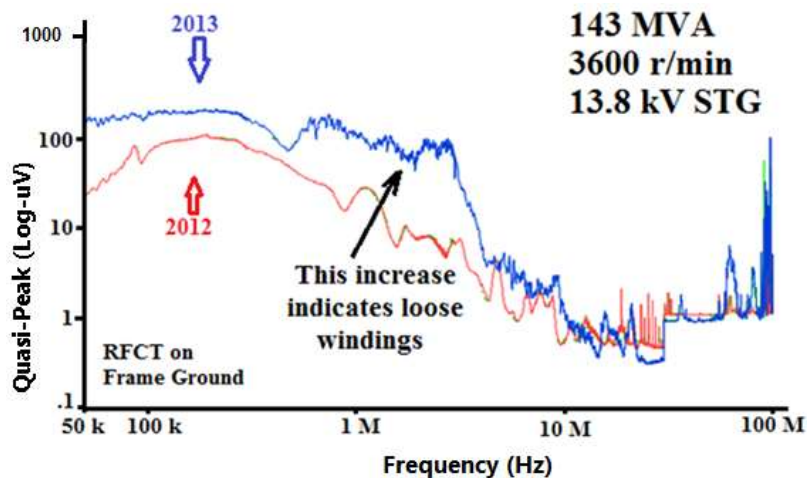
| | |
|----------------|---|
| <i>Cilj</i> | <i>Namoti statora Sustav pobude Klinovi/Utori</i> |
| <i>Senzori</i> | <i>Doble Spark; Doble PDS200</i> |
| <i>Norme</i> | <i>CISPR-16</i> |



EMI Ispitivanje



Svaki tip defekta, uključujući impulse PP ili električni luk, stvara EMI potpis i uzorak koji je jedinstven i također ovisi o svom položaju u EUT.



EMI Ispitivanje



Više od 65 različitih električnih i mehaničkih stanja je identificirano i dokazano

| Generators | Motors | Iso-Phase Bus |
|--|---|--|
| Stator bar slot discharges | Stator coil partial discharges | Loose or broken support insulators |
| Stator slot side-packing erosion | Deterioration in slots & ends | Loose or corroded hardware |
| Stator bar stress grading system deterioration | Defective bolted or crimped stator lead connections | Defective insulation |
| Loose stator wedging | Shaft oil seal rub | Stray circulating currents |
| Loose end winding ties | Broken induction motor rotor bars | Foreign material or objects inside bus |
| Blocking and circuit rings | Bearing problems | Defective bus PT connections |
| Loose or broken stator sub-conductors | Misalignment | Open PT high-voltage fuses |
| Winding contamination | Winding contamination | Contaminated insulators |
| Exciter issues | | |

EMI Ispitivanje

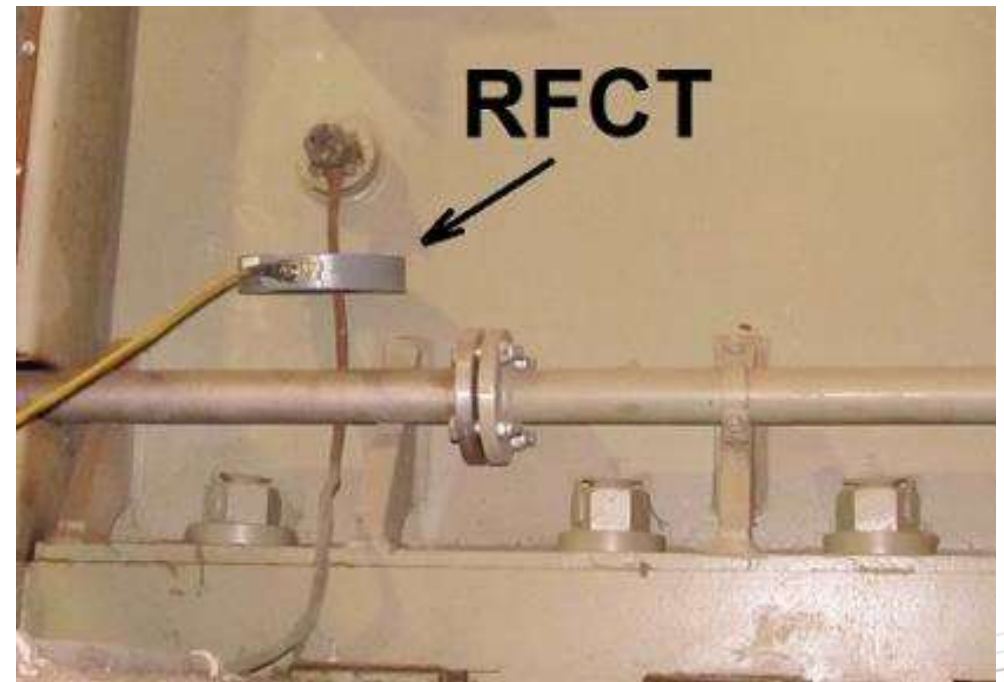
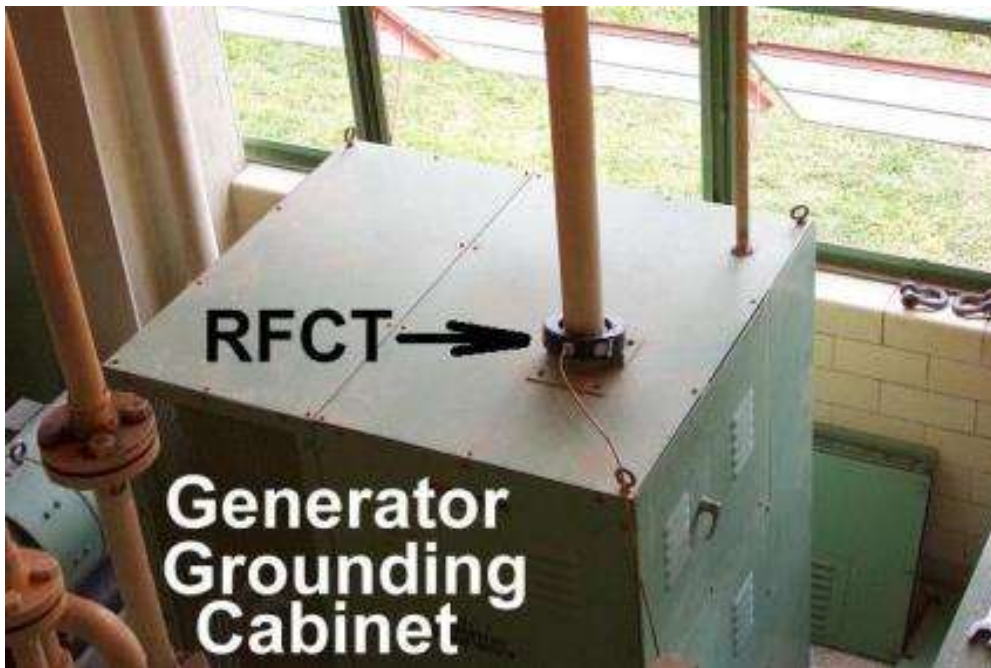


- Položaj senzora ovisi o tipu RM koju ispitujeemo.
- Za prikupljanje podataka odabrano je sigurno mjesto niskog napona ili neko uzemljeno mjesto.
- Nikada nismo spojeni na VN.
- Nema rizika od električnog luka.
- Nema smetnji u normalnim operacijama prikupljanja podataka.
- Nikakav signal se ne ubacuje u sustav, samo se „sluša”.

EMI Ispitivanje



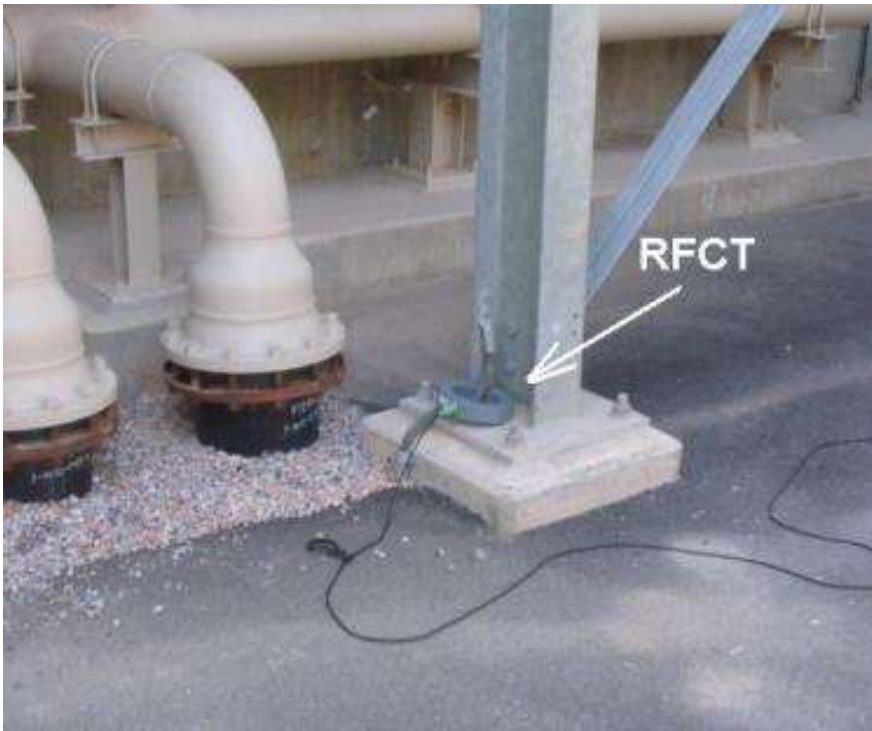
Uzemljenje generatora je najbolje mjesto za prikupljanje podataka za EMI. Sigurnosno uzemljenje se također može koristiti.



EMI Ispitivanje



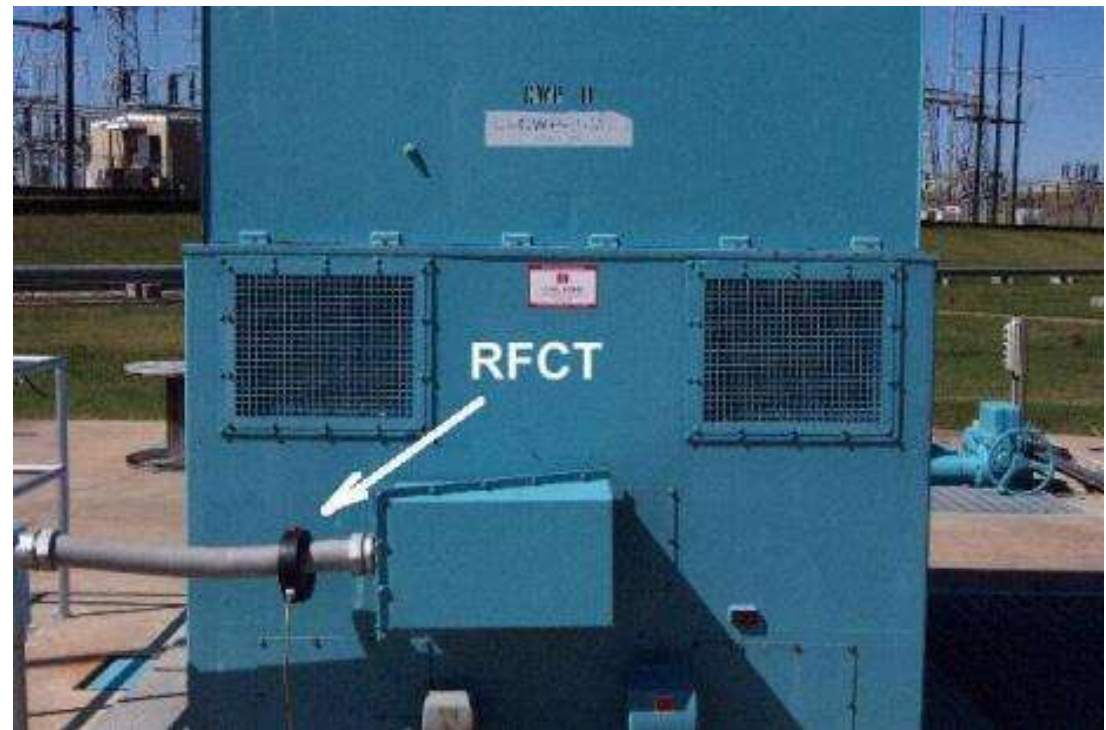
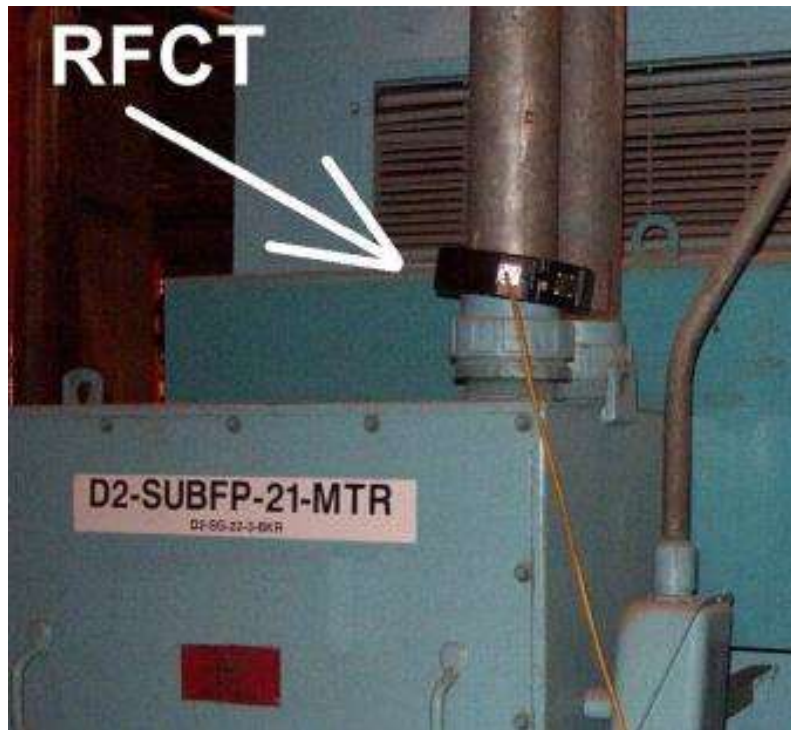
VFST (HFCT) na uzemljenju sabirnice blizu generatora



EMI Ispitivanje



Najbolje mjesto za prikupljanje podataka je na kabelu napajanja



Studije Slučaja



Ispitivanje PP

Studija slučaja #1



PP – Studija slučaja #1



30 MVA (14,7 kV) Sinkroni Generator

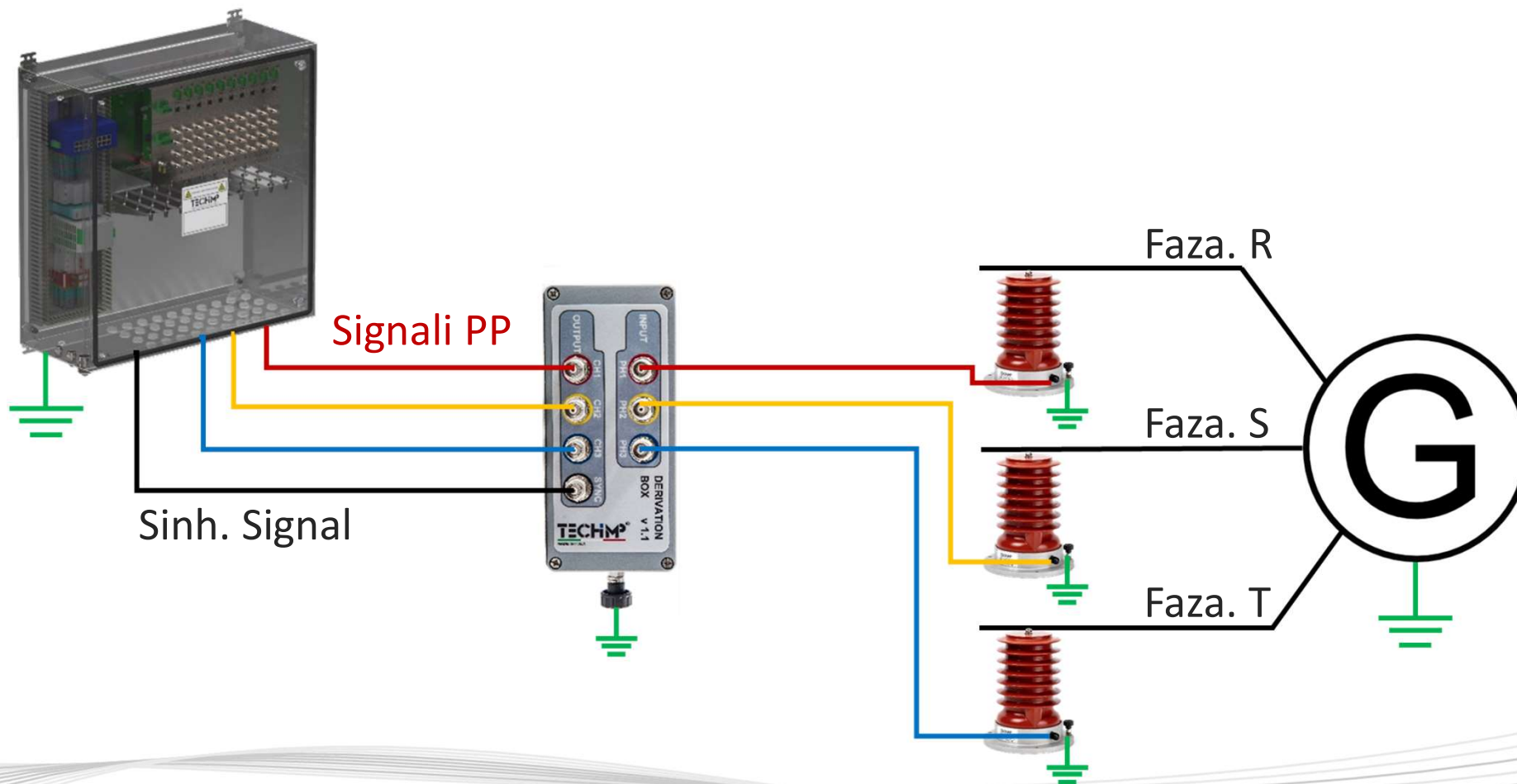
Instaliran u kogeneracijskom postrojenju i pogonjen turbinom.

Generator je proizveden 2009. godine i radi u dnevnim ciklusima od tada

Online mjerenje PP u 2017. istaknulo je neke aktivnosti PP šipka-zemlja i stress grading-u na sve 3 faze

Provedena je akcija održavanja kako bi se uklonila aktivnost šipka-zemlja, a paralelno je instaliran on-line sustav za praćenje PP kako bi se pratilo ocjenjivanje naprezanja na stress grading-u.

PP – Studija slučaja #1



PP – Studija slučaja #1



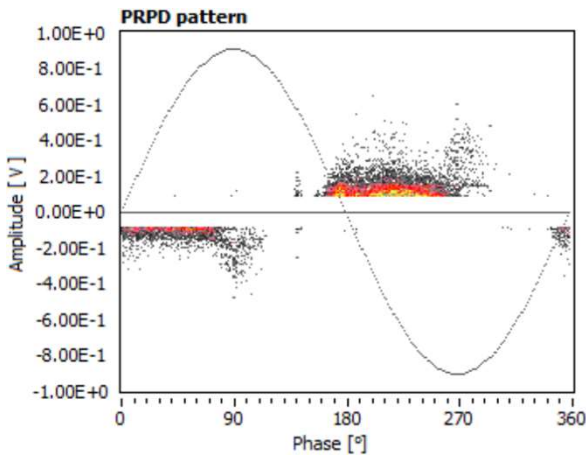
Od inicijalnog mjerenja PP izvedena je aktivnost održavanja gdje su zamijenjeni terminali (strana prema nuli i VN strana) kako bi se bolje rasporedilo naponsko naprezanje na namotu

Ova radnja smanjila je amplitudu PP Stress Grading-a za značajan iznos (sa 600 mV na 250 mV) što se pokazalo ispravnim potezom, budući da je sljedeća godina praćenja pokazala povećanje amplitude od oko 80-100%.

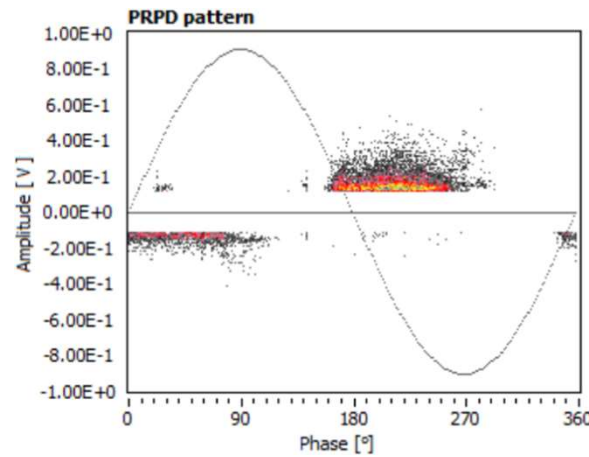
PP – Studija slučaja #1



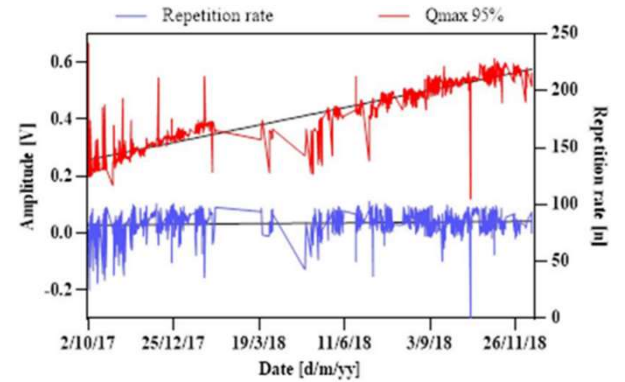
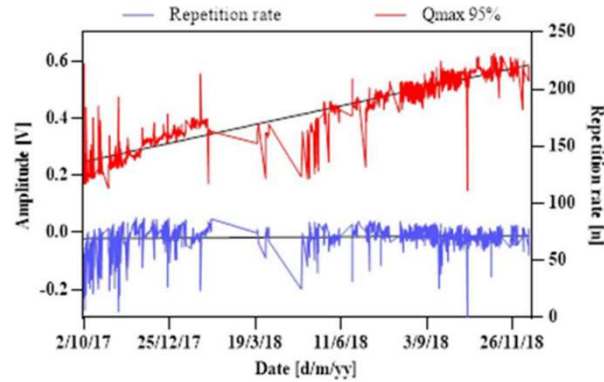
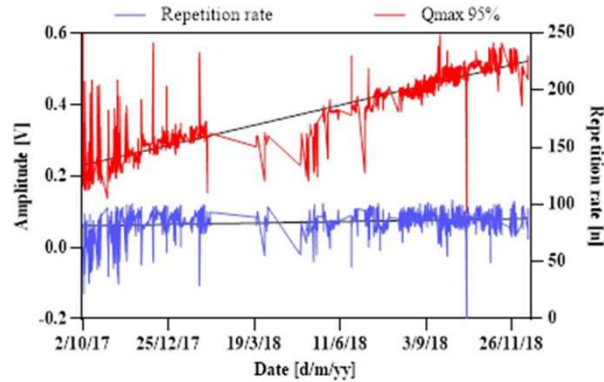
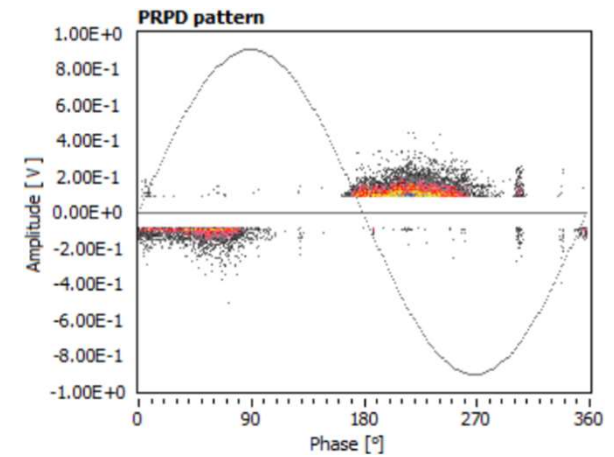
Faza R



Faza S



Faza T



PP – Studija slučaja #1



Bez mjerenja koje je izvršio PDMS i naknadne analize, PP na stress grading-u bi udvostručilo svoju amplitudu, što bi najvjerojatnije rezultiralo kvarom stroja.

Prisutnost PDMS-a učinkovito je produžila radni vijek generatora za otprilike godinu dana, odgađajući do tada bilo kakvu invazivnu zamjenu djela stroja.

Ispitivanje PP

Studija slučaja #2



PP – Studija slučaja #2



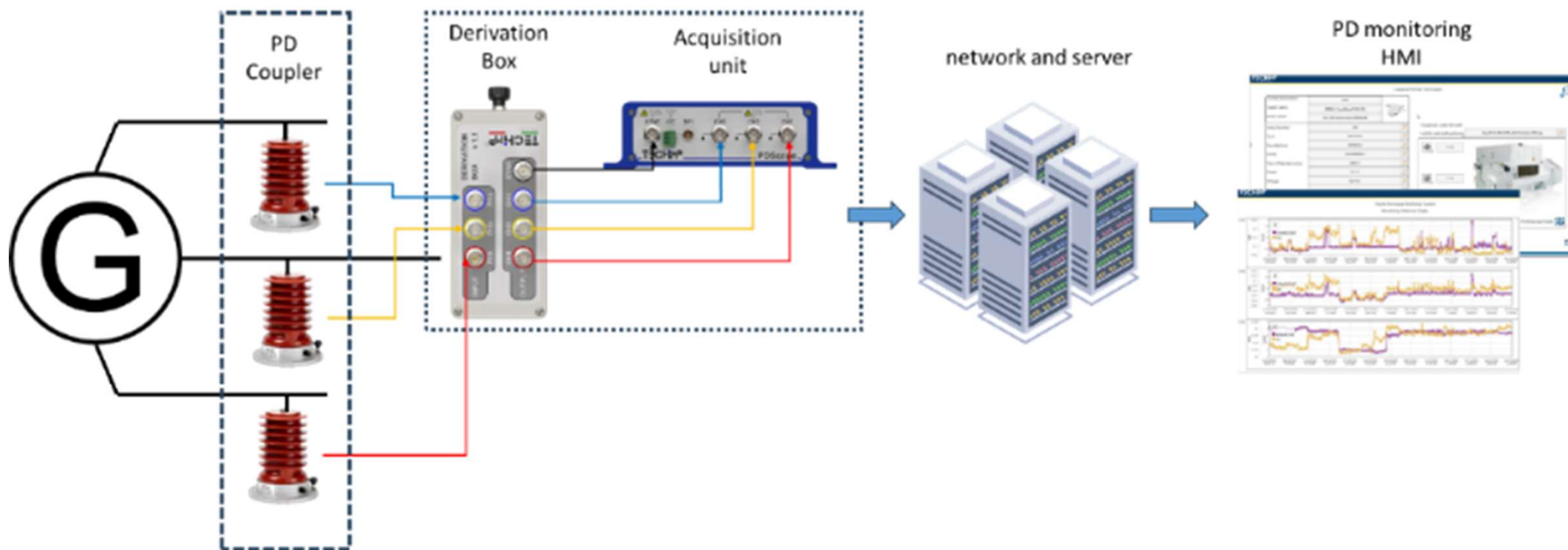
Flota sinkronih i asinkronih SN motora

Instaliran u postrojenju za odvajanje zraka.

Već postojeći PDMS s kapacitivnim senzorima od 80 pF nije mogao otkriti opasna PP zbog prisutnosti brojnih smetnji i preslušavanja.

Techimpov UWB (16 kHz – 30 MHz) PDMS instaliran je na njegovo mjesto, koristeći kapacitivne spojnice od 1,2 nF s nižom graničnom frekvencijom (≈ 3 MHz).

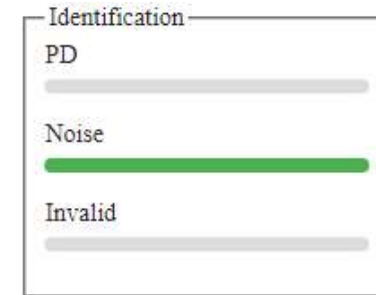
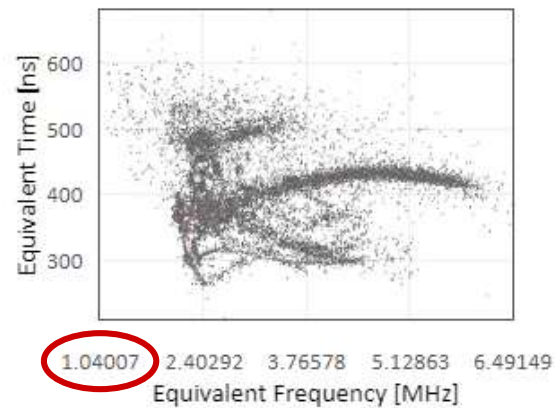
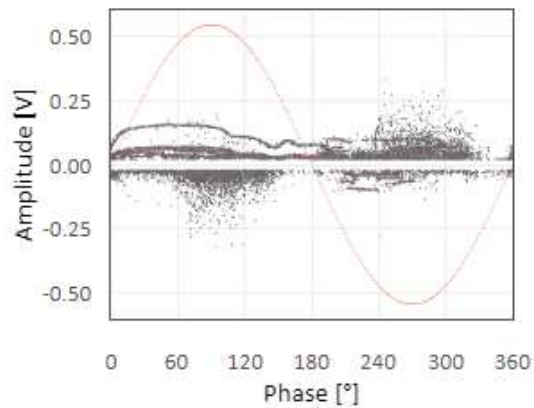
PP – Studija slučaja #2



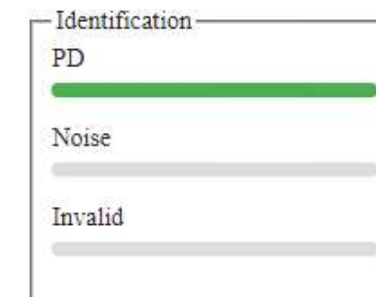
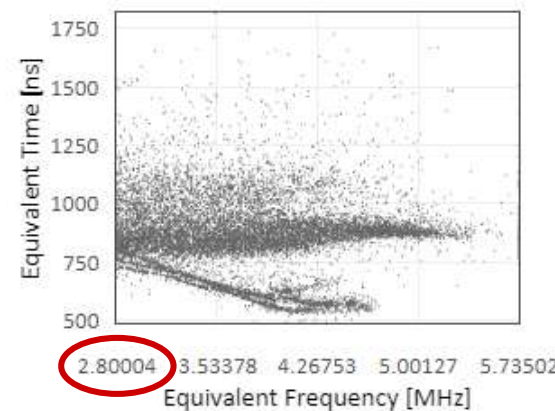
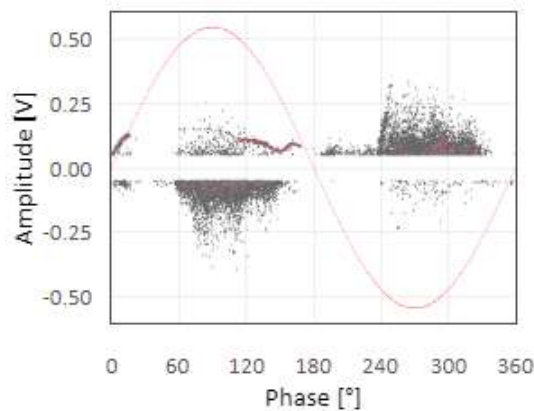
PP – Studija slučaja #2



Upotrebom T-F Map bilo je moguće automatski filtrirati i udaljiti signal šuma



The above automatic identification response must be confirmed by a PD specialist.

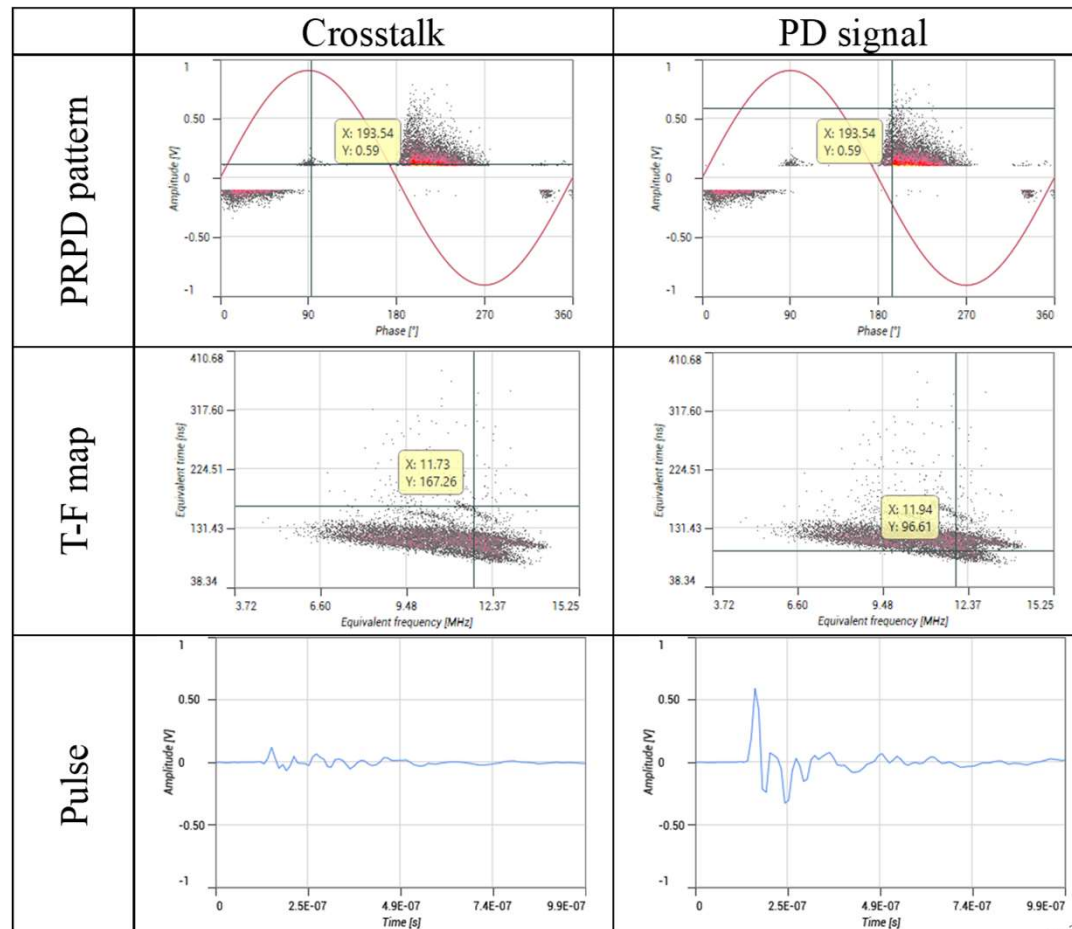


The above automatic identification response must be confirmed by a PD specialist.

PP – Studija slučaja #2



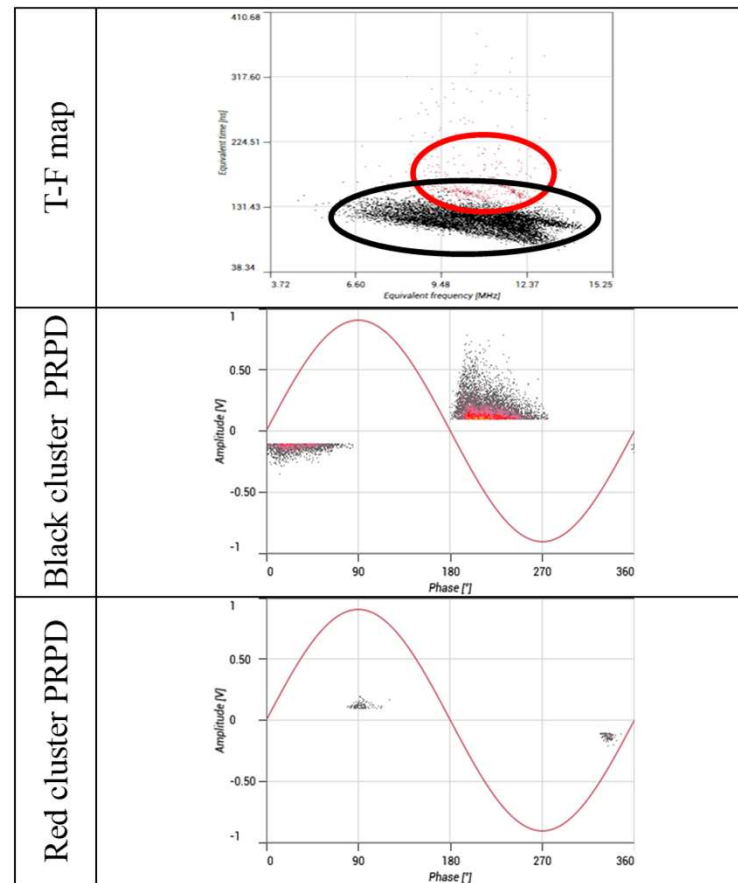
I razdvojiti izvore parcijalnih pražnjenja



PP – Studija slučaja #2



I razdvojiti izvore parcijalnih pražnjena



PP – Studija slučaja #2



Tijekom vizualnog pregleda namota statora u radionici, fenomen aktivnosti PP u motoru mogao se uočiti prisutnošću tipičnog bijelog praha kao rezultat erozije uslijed aktivnosti PP.



PP – Studija slučaja #2



Kada je ispitni napon primijenjen za električna ispitivanja, mogle su se primijetiti iskre u području krajeva namota.



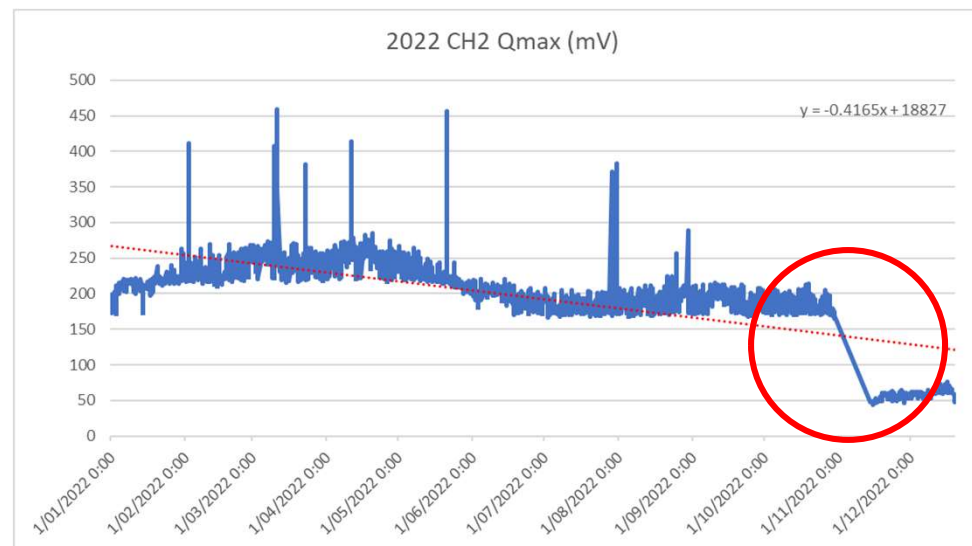
PP – Studija slučaja #2



Motor je očišćen i oštećenje uzrokovano PP je popravljeno.

Kao dodatna mjera, Strana namota prema neutralu je obrnuta, tako da je prijašnje opterećeni dio namota sada podložen nižim gradientima napona

Učinak ove radnje, koja je imala značajan učinak na životni vijek motora, može se primijetiti u amplitudi fenomena koje prati PDMS.





EMI Ispitivanje

Studija slučaja #3

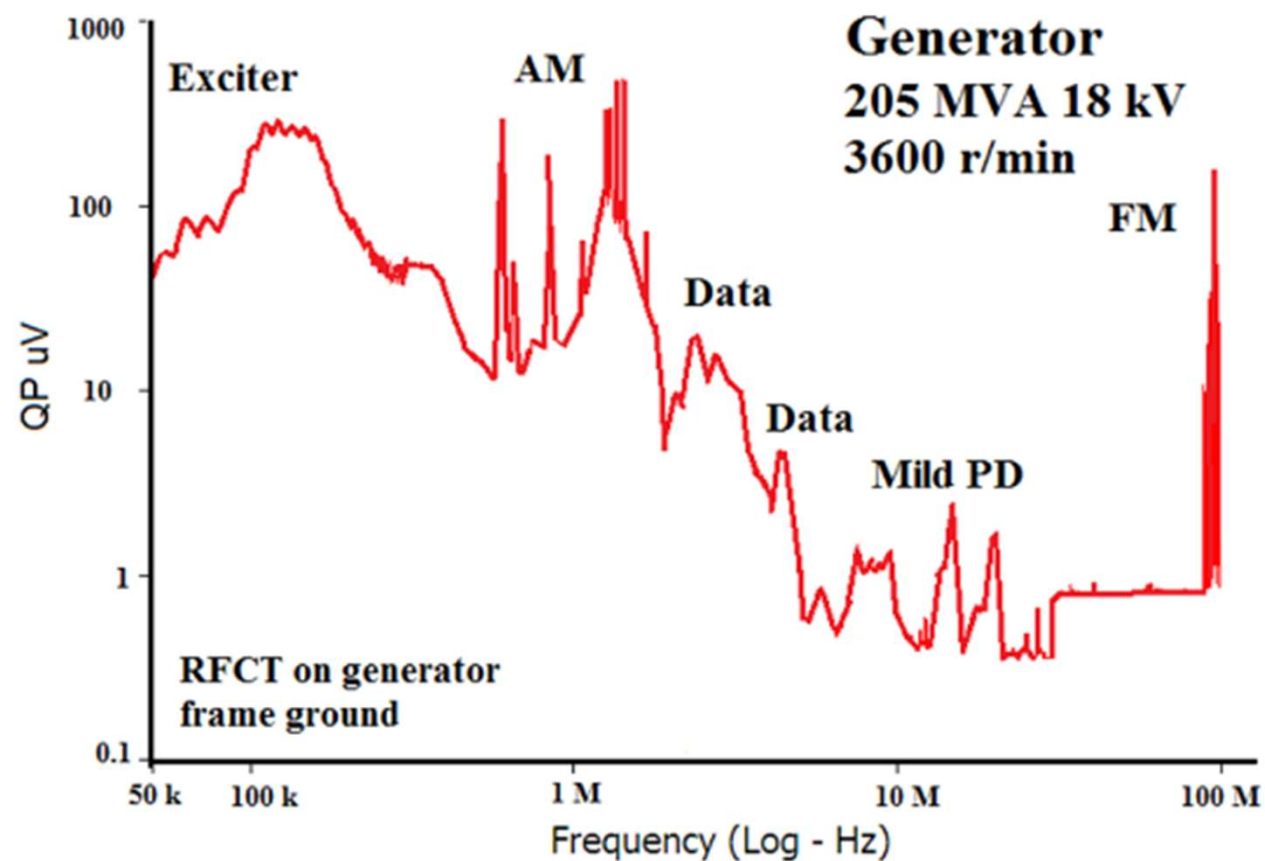
EMI – Studija slučaja #3



Također može identificirati
Probleme sa Uzbudom

Razine mjerenje na ovoj
Uzbudi su bile jako visoke

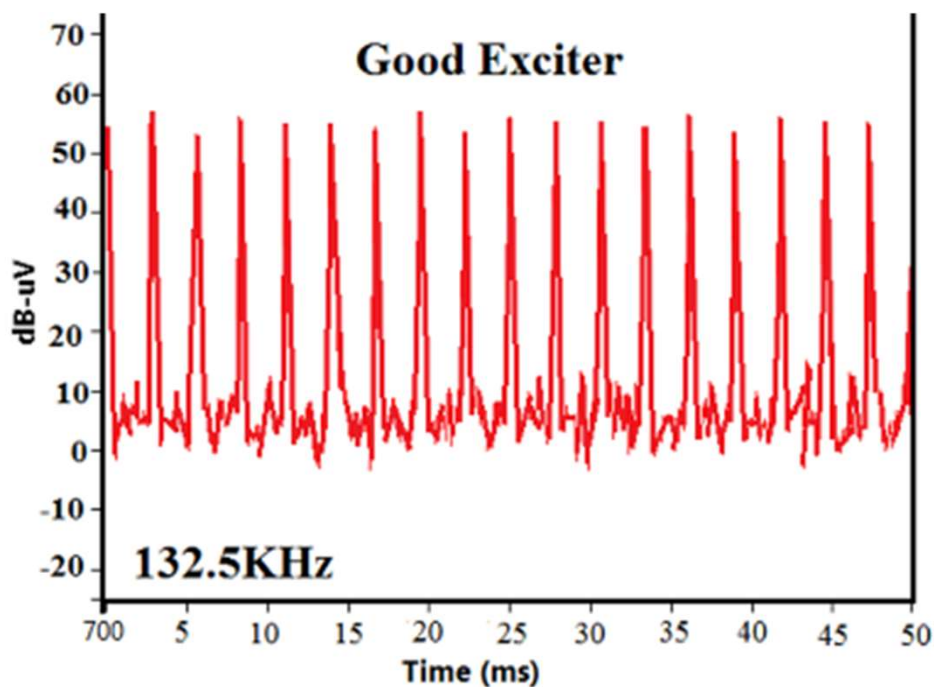
Iskrenje je bilo prisutno



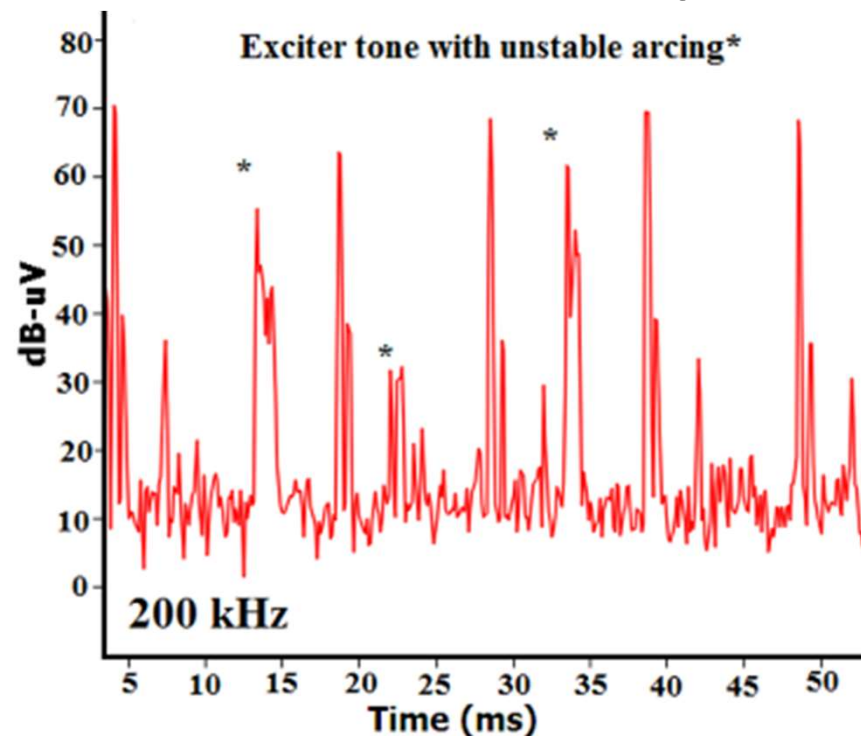
EMI – Studija slučaja #3



Dobar sustav uzbude



Sustav uzbude sa nestabilnim iskrenjem



EMI – Studija slučaja #3



Jedan od četiri statička kabela uzbude imao je labav spoj

Dobar kraj kabela

Kabel sa labavim spojem

