

Online monitoring čiastkových výbojov na generátoroch a motoroch

Autor prezentácie:

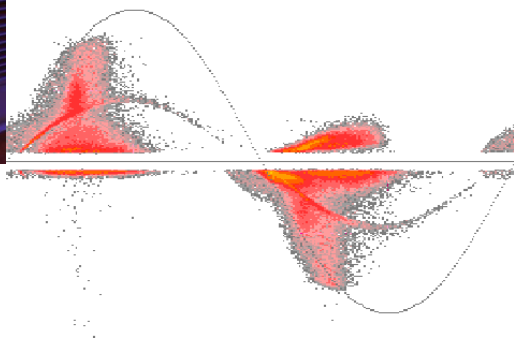
Matthias Wiesmann

aplikačný špecialista, PowerDiagnostix,
Aachen

Preklad a prednášajúci:

Ing. Róbert Madarász

aplikačný špecialista, Megger SK, Bratislava



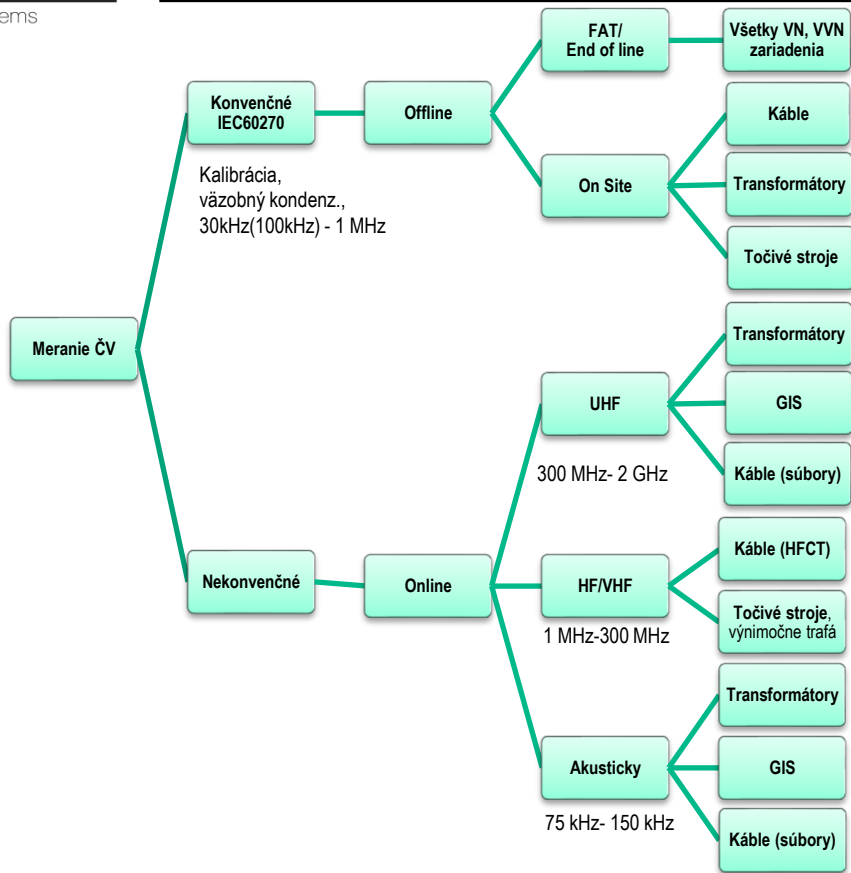
Power Diagnostix Systems GmbH
Vaalser Strasse 250,
52074 Aachen, Germany
www.pdix.com

- Špecialista na vývoj a výrobu systémov na offline a online meranie a monitoring čiastkových výbojov pre všetky relevantné aplikácie, plus služby v oblasti diagnostiky VN- a VVN-zariadení
- Spoločnosť založená v roku 1986 Dr.Detlevom Grossom
- Od júna 2019 je **PDIX** súčasťou firemnej skupiny **Megger**



- Je všeobecne akceptovaným faktom, že detekcia čiastkových výbojov (ČV) je účinnou metódou umožňujúcou včasnú identifikáciu degradačných procesov izolačných systémov VN a VVN zariadení ako sú
 - Káble
 - Transformátory (prechodky)
 - Rozvádzače, vrátane plynom izolovaných rozvodní GIS
 - Točivé stroje
 - iné VN komponenty
- Meranie čiastkových výbojov je zároveň súčasťou FAT testov v procese kontroly kvality výroby týchto zariadení a komponentov podľa príslušne platných noriem.





ICMcompact



ICMsystem

Online meranie na točivých strojoch je síce kalibrované a cez väzobný kondenzátor, ale typické používané pásmo detekcie je 1MHz – 20 MHz, preto nemôžeme hovoriť o konvenčnom meraní podľa IEC60270.

ICMmonitor portable



ICMmonitor



GISmonitor



Na akých typoch točivých strojov je obvyklé aplikovať online monitoring ČV?

- Hydro-generátory
- Turbo-generátory
- Kritické VN-motory
- Iné kritické pohony (napr. kompresory, čerpadlá, ventilátory...)

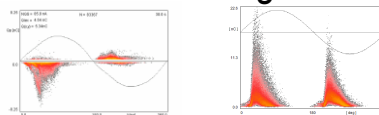


Prečo aplikovať online monitoring čiastkových výbojov (ČV) na kritických točivých strojoch, ako sú generátory a VN- motory?

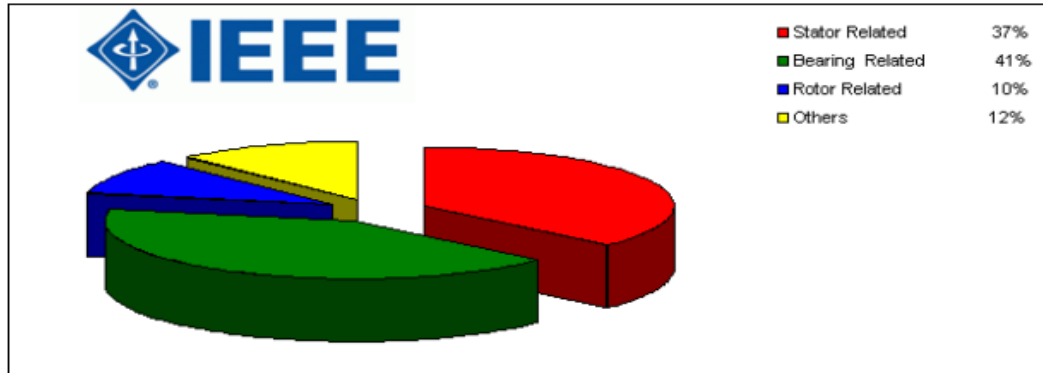
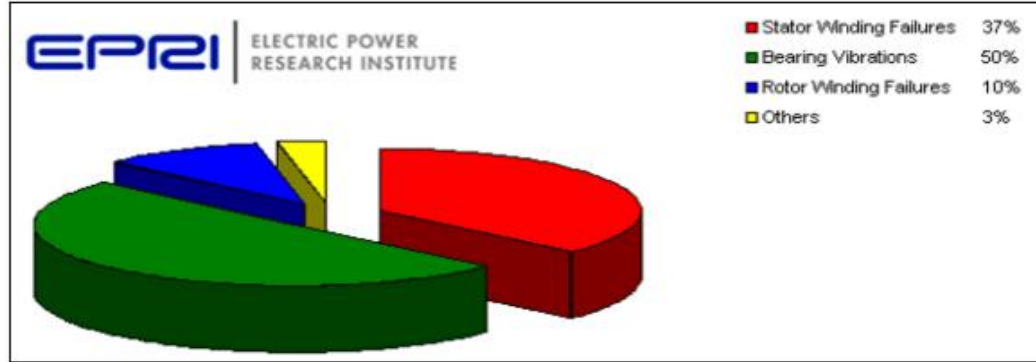
- Monitorovanie a trendovanie výbojovej aktivity na kritických točivých strojoch je osvedčený nástroj preventívnej údržby slúžiaci ako **systém včasného varovania pred degradačnými procesmi izolačného systému statorového vinutia**, schopný včasne identifikovať všetky najdôležitejšie izolačné poruchové mechanizmy.
- Zo štúdií je známe (viď nasledujúce strany tejto prezentácie), že na VN-motoroch a generátoroch sú poruchy spôsobené degradáciou izolácie statorového vinutia dominantnými príčinami závad, predstavujúcimi 50 až 60% všetkých závad! Tieto typy závad nie sú identifikovateľné vibriodiagnostikou.
- Napriek tomu, že izolačný systém točivých strojov nie je od výroby bezvýbojový a je odolný voči výbojom (štandardná kalkulovaná životnosť generátora pri “normálnom starnutí” je 20 rokov), poruchový mechanizmus rozvíjajúci sa na kritickej pozícii izolačného systému statorového vinutia (napr. v drážkach, na koncovom vinutí alebo na výstupe z drážky) môže viesť ku kritickej degradácii v priebehu niekoľkých mesiacov.

Prečo aplikovať online monitoring čiastkových výbojov (ČV) na kritických točivých strojoch, ako sú generátory a VN- motory?

- Na základe **vzorcov fázového rozloženia** výbojov (monitorovací systém automaticky generuje obrazce fázového rozloženia- tzv. PRPD = Phase Resolved Partial Discharge Pattern) je možné identifikovať typ a pozíciu izolačnej závady, ako aj jej kritičnosť.



- Dlhodobé kontinuálne sledovanie trendu výbojovej aktivity a zmien v čase vrátane obrazcov fázového rozloženia výbojov umožňuje identifikovať degradačný proces v počiatočnom štádiu, čo dáva možnosť vykonať včasné opatrenia v podobe čiastkových opráv.
- System na online monitoring čiastkových výbojov na kritických točivých strojoch tak pomáha šetriť značné náklady nielen tým, že zamedzuje nekontrolovaným poruchovým stavom a z toho vyplývajúcim výpadkom generovania energie (alebo inej výroby), ale aj tým, že znižuje náklady na opravy vďaka včasnému rozpoznaní degradácie a vďaka možnosti identifikácie konkrétneho typu a umiestnenia problému.



Analýza 7500 strojov (1983)

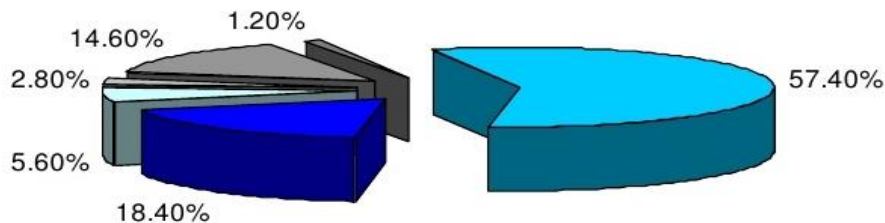


37% všetkých závad bolo spôsobených
izolačnými problémami satorových vinutí

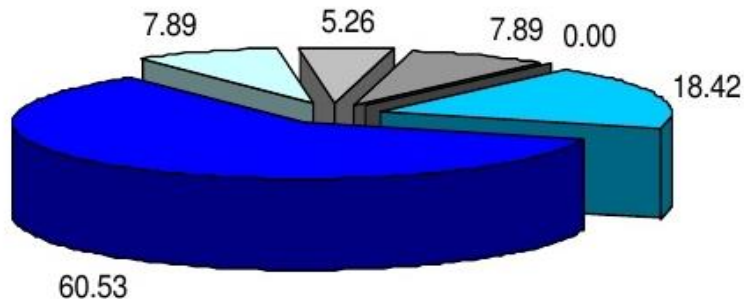


Analýza 3000 strojov (1995)

VN-motory < 2MW



VN-motory > 2MW

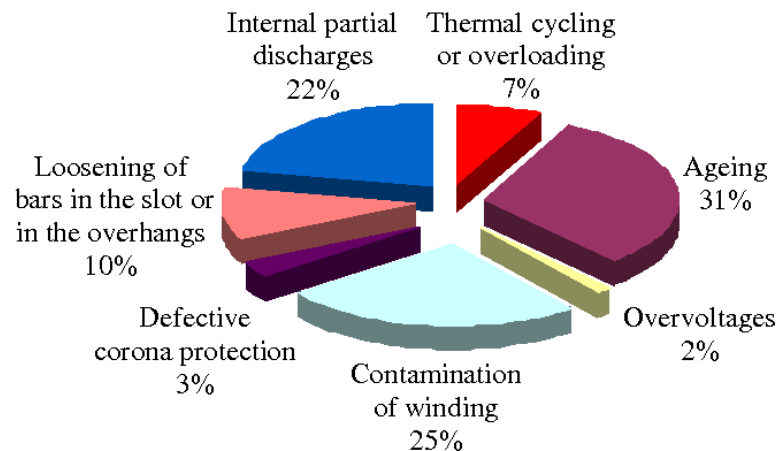
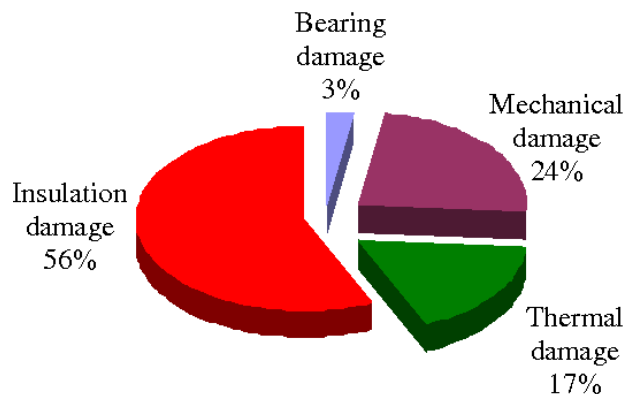


Príčina závady:

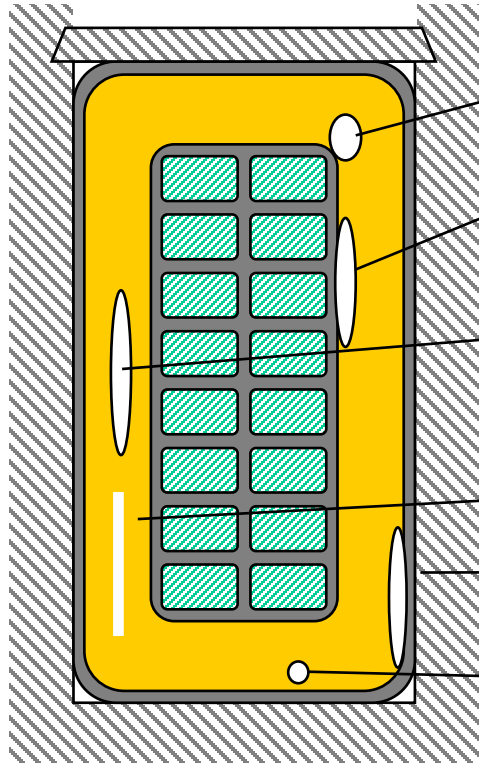
- Ložiská
- Statorové vinutia
- Rotor
- Hriadeľ alebo prevod
- Externé zariadenie
- Nešpecifikované

U VN-motorov > 2MW predstavovali **izolačné problémy statorového vinutia až 60% všetkých závad !**

Reference: IEEE transactions on industry applications vol.35 N°3

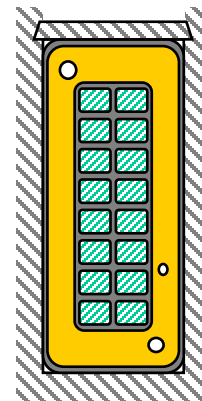
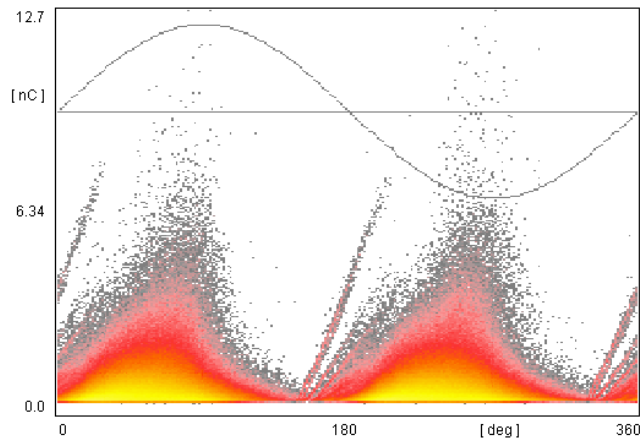
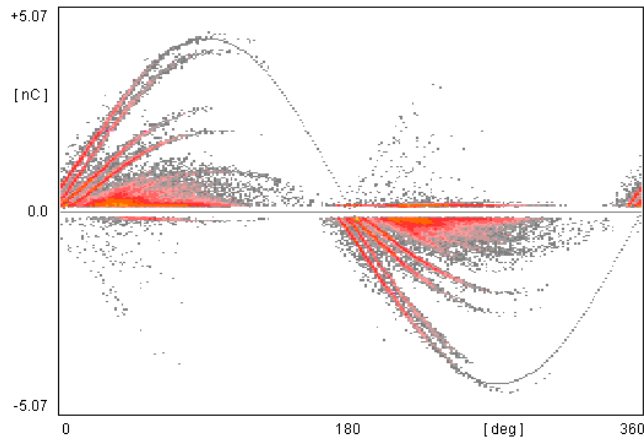


Izolačné problémy statorového vinutia predstavovali až **56%** všetkých závad (ľavý graf).
Pravý graf znázorňuje bližšiu príčinu izolačného problému, pričom 22% predstavovali interné čiastkové výboje.



6 možných zdrojov ČV, každý s iným vzorom fázového rozloženia:

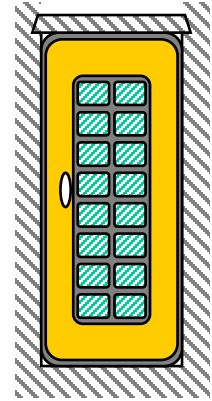
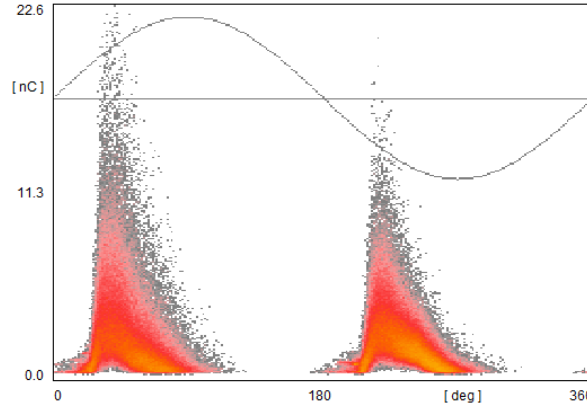
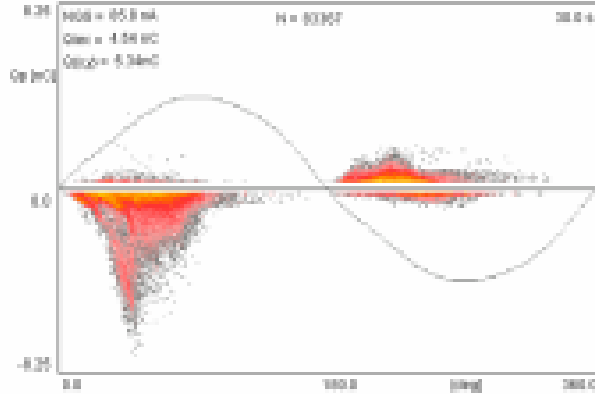
- 1) Sférická dutina na rohu vodičov (vyššia intenzita el. poľa na rohoch => nízke zápalné napätie !)
- 2) "Conductor bound" delaminácia na rozhraní medzizávitovej a hlavnej izolácie (typické pri častom striedaní záťažových cyklov- napr. hydrogenerátor prečerpávacej vodnej elektrárne)
- 3) Interná delaminácia hlavnej izolácie v dôsledku termálneho starnutia (malé sférické dutiny, ktoré sa môžu rozvinúť do väčších plochých dutín)
- 4) Stromčeky vo vrstvách hlavnej izolácie
- 5) Delaminácia na protikoronovej vrstve – drážková delaminácia => drážkové výboje
- 6) Interné dutiny v hlavnej izolácii (po VPI impregnačnom cykle)- nepredstavujú okamžité riziko



Hlavné vlastnosti vzorca fázového rozloženia ČV:

- Symetrické rozloženie impulzov v pozitívnej a negatívnej polvne
- Typické líniové vzorce pre každú dutinu (prvotné štádium, môže časom zaniknúť)
- V neskoršom štádiu môže niekedy dochádzať ku karbonizácii v dutinách a tým ku povrchovým výbojom – vzorec obsahuje kombináciu líniových štruktúr a dutinových výbojov s vyššou početnosťou



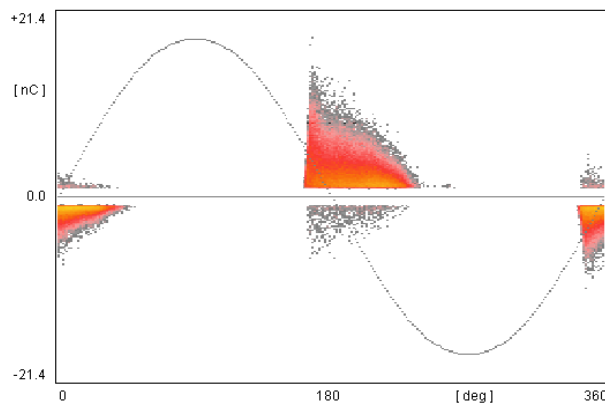
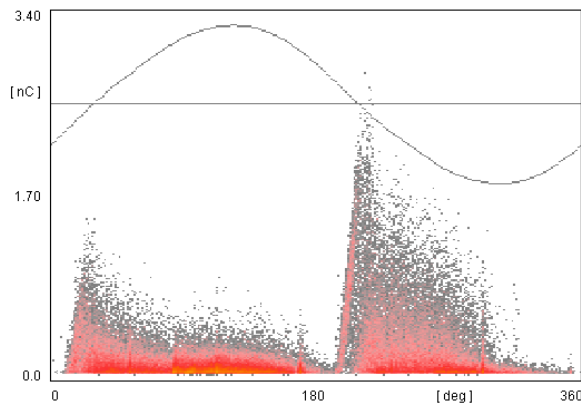


Typické pre stroje s častými záťažovými cyklami => záťaž na kontakte medzi izoláciou dieľčich vodičov/ medzizávit. izoláciou a hlav. izoláciou => narušená tepelná vodivosť cez hlavnú izoláciu smerom k uzemnenému jadru => hot spot => medzizávit. porucha

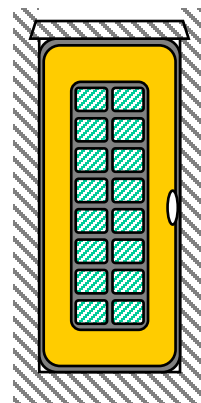
Hlavné vlastnosti vzorca fázového rozloženia ČV:

- Asymetrické rozloženie impulzov (asymetrické rozloženie elektród)
- Dominantná kladná polovina
- Trojuholníkové rozloženie impulzov
- Vľavo: bipolárny záznam; Vpravo: unipolárny záznam





Delaminácia na protikoronovej vrstve – drážková delaminácia



Hlavné vlastnosti vzorca fázového rozloženia ČV:

- asymetrické rozloženie s dominantnou zápornou polvlnou (delaminácia je bližšie ku zemnému potenciálu ako ku VN-potenciálu); trojuholníkový tvar
- výbojová aktivita je silne závislá na záťažových pomeroch (magnetické sily)
- Dôsledkom takejto drážkovej výbojovej aktivity môže byť vysoká tvorba ozónu (O_3), ktorá následne môže spôsobiť vedľajšie korozívne škody



Korózia stroja spôsobená zvýšenou koncentráciou ozónu ako dôsledku drážkových výbojov

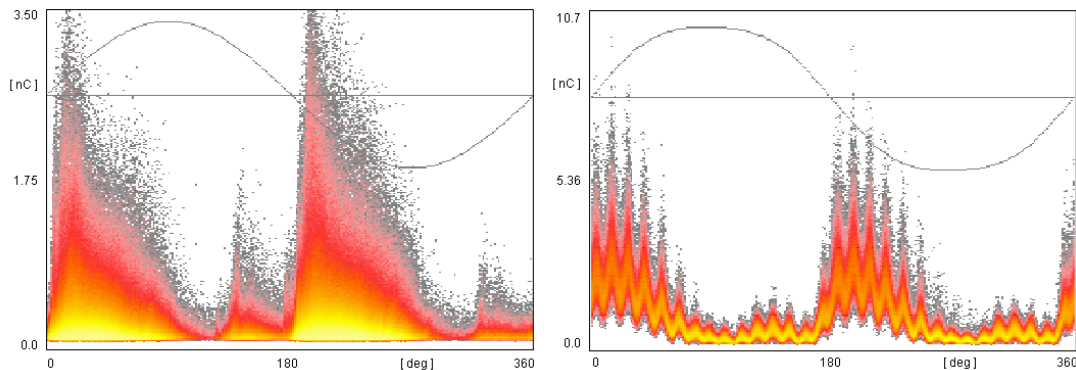


Príklady korózie interných komponentov (vyhrievacie telesá, chladiče, transformátory, CT/VT) stroja v dôsledku zvýšenej koncentrácie ozónu.

-V prípade strojov s uzavretým ventilačným okruhom ostáva ozón produkovaný drážkovou výbojovou činnosťou uväznený v okruhu a spôsobuje koróziu.

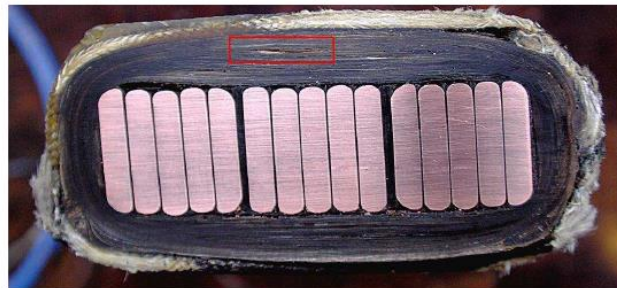
=>Spolu s meraním ČV je dôležitá aj pravidelná vizuálna inšpekcia stroja pre identifikáciu vedľajších škôd

Malé sférické dutinky, ktoré sa môžu rozvinúť do väčších plochých dutín)



Hlavné vlastnosti vzorca fázového rozloženia ČV:

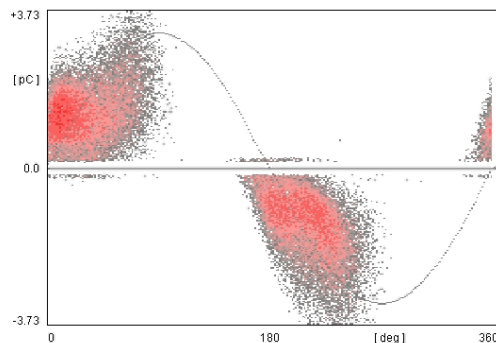
- Symetrické rozloženie v klad. a záp. polovne
- Typický trojuholníkový tvar s rovnakou amplit.
- “Presluch” z vedľajšej fázy (posun 120°)
- Pravý príklad vzorca ukazuje vplyv vyšších harmonických (vidno aj na skreslení napäť. priebehu)



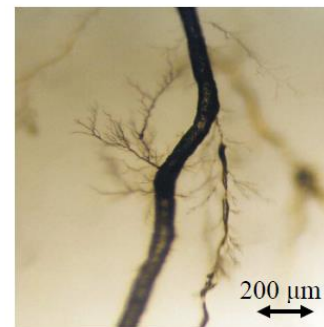
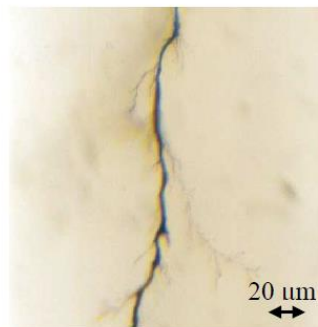
Príklad dutín po termickom starnutí izolácie

© IEEE Magazine, Vol. 24, Issue 4, 2008

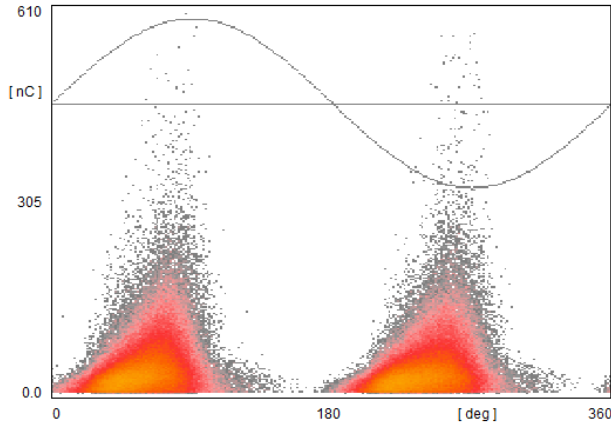
Laterálne stromčekové štruktúry v hlavnej izolácii



- Stromček postupne rastie, až sa vytvorí hlavný kanál a nastáva karbonizácia
- Výbojová aktivita rastie úmerne rastu stromčekov
- Vzorec s typickým “oblakom” synchronizovaným okolo prechodu nulou
- Konečným štádiom takejto aktivity môže byť prieraz



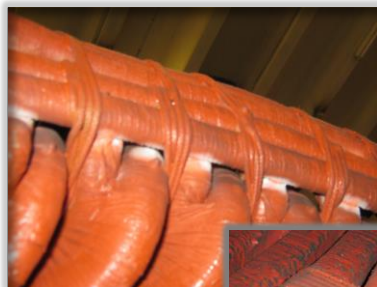
© IEEE Magazine, Vol. 24, Issue 4, 2008



Kontaminácia koncového vinutia (vlhkosť, vodivá kontaminácia)

- Symetrické rozloženie s podobným vzorcom v oboch polvlnách
- Maximum aktivity ČV v maxime napätia (90° & 270°)
- Silne napäťovo závislá amplitúda výbojov
- Často trojuholníkové rozloženie výbojov

Iné zdroje výbojovej činnosti na koncovom vinutí



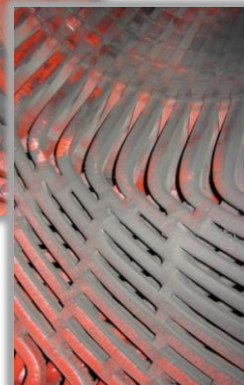
(3)



(2)

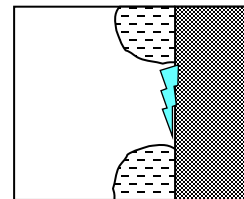


(1)

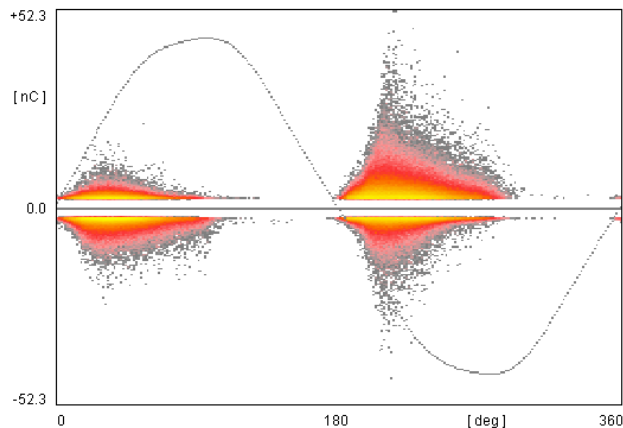
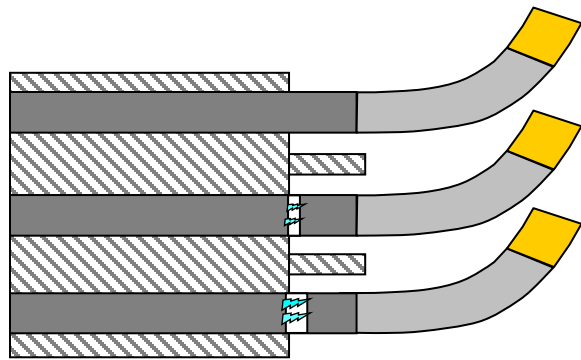


Možné príčiny:

- Vodivá kontaminácia (1)
- Nedostatočné rozpery medzi cievkami odlišných fáz (2)
- Nedostatočné riadenie poľa polovodivou vrstvou
- Vibrácie čiel cievok počas nábehov (namáhanie vystužovacích blokov a oddeľovacej izolácie káblov) (3)



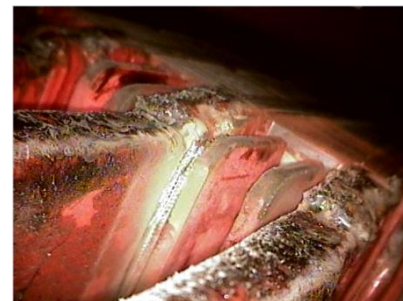
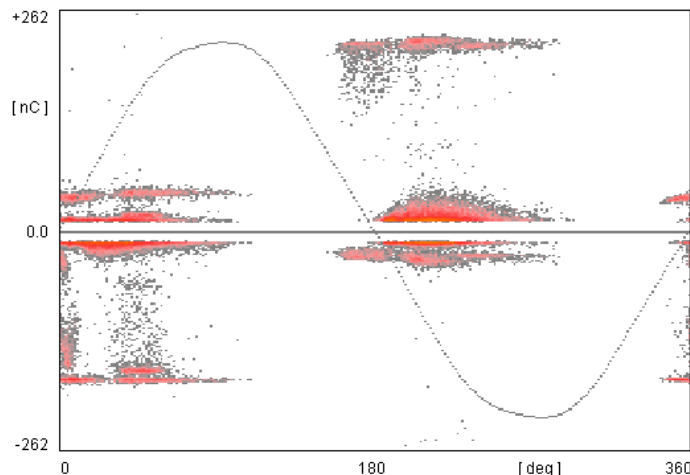
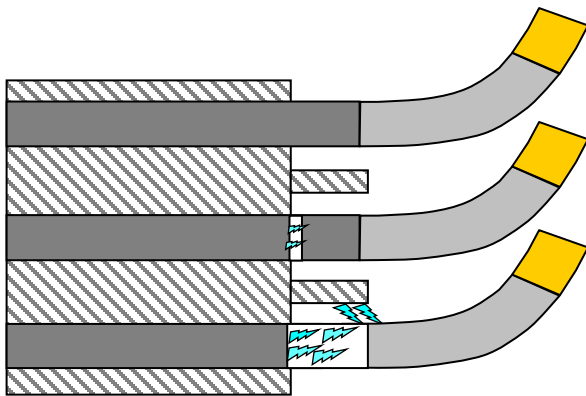
Výboje na výstupe z drážky- prvotné štádium



Častý poruchový mechanizmus pre VPI (Vacuum Pressure Impregnation) izolačné systémy

- Termické a mechanické namáhanie na výstupe z drážky môže spôsobovať malé povrchové trhliny
- Prvotné štádium: povrchové výboje degradujúce vonkajšiu izolačnú vrstvu, čo má vplyv na miesto prekrytia medzi vodivou a polovodivou vrstvou
- Vzorec fázového rozloženia v rannom štádiu je porovnateľný s drážkovými výbojmi (dominantná záporná polovina), ale amplitúdy výbojov sa typicky pohybujú v rozsahu ~ 10-50nC
- Povrchové praskliny sa postupne menia na rastúcu štrbinu v dôsledku výbojovej aktivity

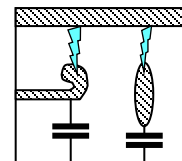
Výboje na výstupe z drážky- pokročilé štádium



Karbonizácia na výstupe z drážky

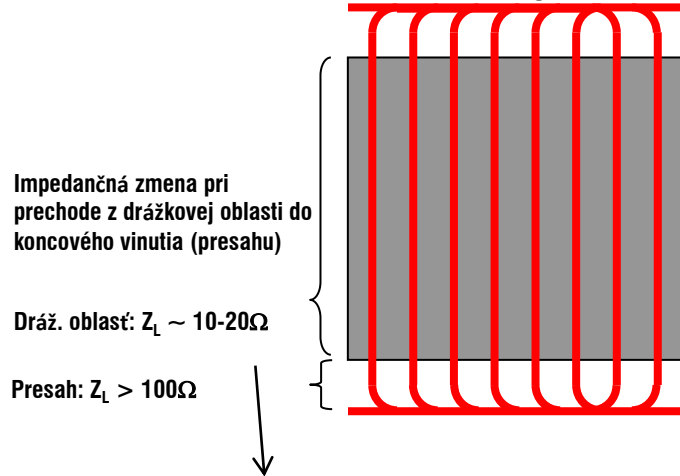
Finálne štádium:

- Polovodivá vrstva sa oddelí od vodivej vrstvy (uzemneného jadra)
- Dôsledkom sú intenzívne výboje spôsobené elektródou na plávajúcim potenciále
- Nastávajú viditeľné preskoky oblúkov voči sťahovacím zubom a dokonca späťne voči jadrú a sťahovacej platni
- Veľmi vysoká amplitúda výbojov $>100\text{nC}$



Model statorového vinutia –turbo generátor

Šírenie signálu pri voľbe nevhodného detekčnej frekvencie:

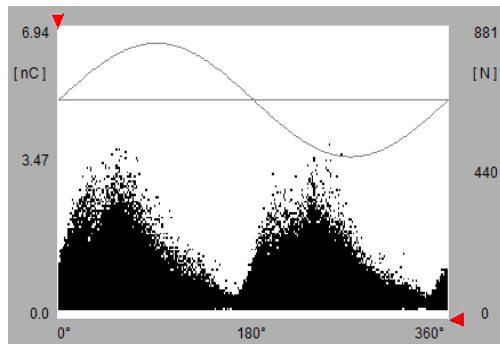


- Dĺžka jadra: 6m
- Presah (overhang): 1,5m
- ϵ_R : 4 (epoxy-mica)
- Fázová rýchlosť C_0 : $2,99 \times 10^8$ m/s
- Rýchl. šírenia: $C = C_0 / \sqrt{(\epsilon_R)}$

$$\lambda = \frac{C}{2 \pi f} \quad r = \frac{Z_o - Z_c}{Z_o + Z_c}$$

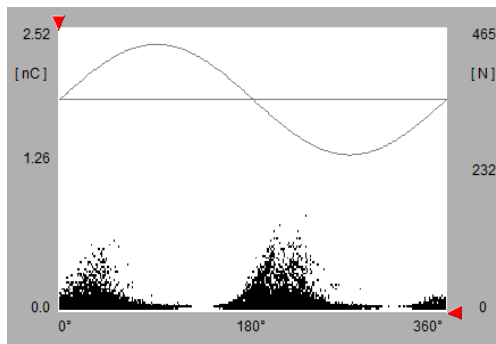
- Každá zmena impedancie spôsobuje reflexie, ktoré sú frekvenčne závislé
- Hranič. frekv. f_c pri ktorej začínajú byť reflexie dominantné pre tento model : $f_c = 2,6$ MHz
- Činiteľ odrazu $r = 80\% \Rightarrow 80\%$ signálu šíriaceho sa z drážkovej oblasti do presahu sa odrazí a nedostane sa k väzobnému kondenzátoru
- Zvýšenie detekčnej frekvencie nad f_c môže značne ovplyvniť citlivosť (hlavne dôležité pre online meranie ČV, ale aj pre správne zvolenie šírky pásma pre offline meranie ČV)

Meranie ČV vs. Detekčná šírka pásma- Príklad



40-800kHz (IEC60270)

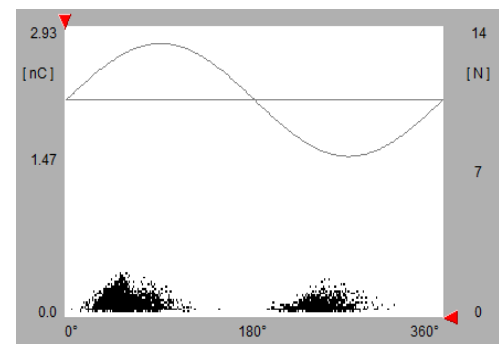
jasný PRPD, vysoká početnosť- 1215697 udalostí



stredné pásmo: 2-20MHz

110843 udalostí

neumožňujú kalibráciu podľa IEC60270, početnosť výrazne klesá



20-200MHz

2270 udalostí

- 1200kW – 6600V asynchrónny motor s interným pripojením neutrálneho bodu
- Čerstvo VPI impregnované statorové vinutie
- Offline meranie ČV- 60 sekundová akvizícia vzorky fázového rozloženia (konvenčný obvod s väzobným kondenzátorom)
- Rovnaký meraný objekt a skúšobné napätie- rôzne pásmové priepuste

Vhodné frekvenčné pásma pre detekciu ČV

Nízkofrekvenčné pásmo
($< 1\text{MHz}$):

- Najlepšie pokrytie celého vinutia
- Čiastočne ovplynené interferenciami s rušivými signálmi
- Najlepšia voľba pre offline meranie (IEC60270)

Stredné frekv. pásmo
($1\text{-}20\text{MHz}$):

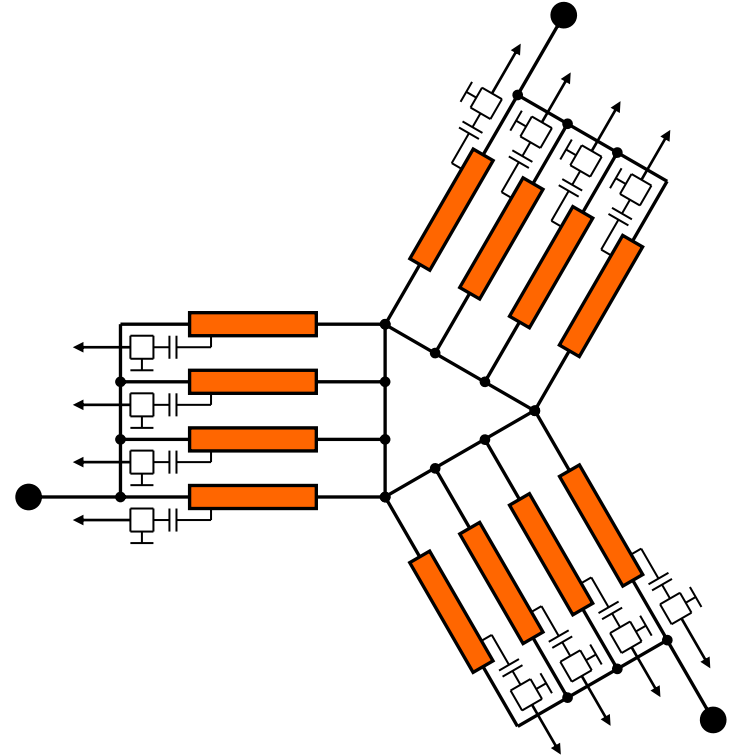
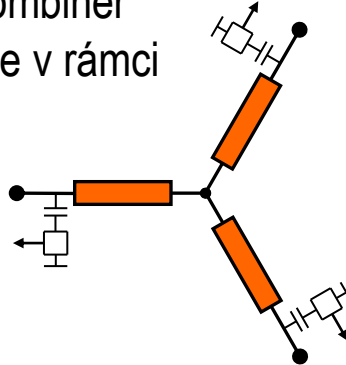
- Dobré pokrytie (šírenie signálu)
- Stredná miera rušivých interferencií
- Najlepšia voľba (kompromis) pre online monitoring

Vysokofrekv. pásmo
($20\text{-}500\text{MHz}$):

- Limitované pokrytie (len lokálna detekcia výstupu z drážky)
- Nízka miera rušivých interferencií
- Citlivá detekcia blízkych javov (výstup z drážky)

Permanentne inštalované väzobné kondenzátory

- Štandardná inštalácia pre turbínové a stredne veľké hydrogenerátory : väzobné kondenzátory na napájacích svorkách stroja alebo na zbernici
- Pre veľké hydrogenerátory (150MW a viac) môže byť potrebné použiť viacero väzobných kondenzátorov paralelne pre každú fázu v kombinácii s "Coupler Signal Combiner" pre garanciu spoľahlivej detekcie v rámci celého vinutia.

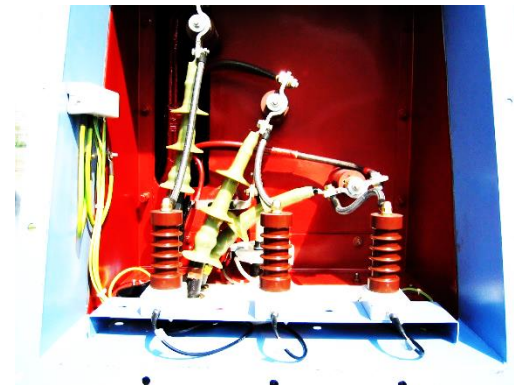


K dispozícii je viacero typov väzobných kondenzátorov, podľa napäťovej hladiny. Všetky majú zabudovanú meráciu impedanciu, ako aj napäťový delič a na výstupnom BNC-konektore je k dispozícii signál čiastkových výbojov so superponovaným napäťovým signálom, ktorý sa využíva na synchronizáciu a generovanie obrazcov fázového rozloženia výbojov.



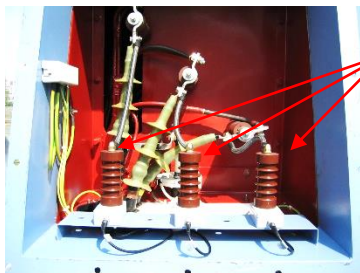
Type	Capacitance	Nom. Voltage	Built-in Quadropole	Built-in Voltage Divider	Built-in RF CT	Max. Height [mm]
CC7B	440 pF	7 kV	✓	✓		152
CC14B	220 pF	14 kV	✓	✓		190
CC20B	145 pF	21 kV	✓	✓		300

Príklady inštalácií väzobných kondenzátorov na motoroch a generátoroch



2 spôsoby online merania/ monitoringu čiastkových výbojov na točivých strojoch:

1. Permanentne inštalované väzobné kondenzátory + periodický, krátkodobý online monitoring pomocou prenosného detektora



Príklad inštalovaných väzobných kondenzátorov na svorkách motora



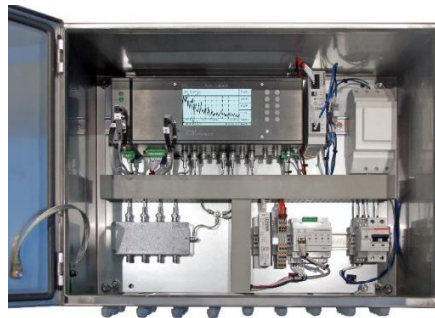
ICMmonitor portable

Prenosná verzia 4/8/12 kanálového monitorovacieho systému. Použiteľná pre rôzne online aplikácie, ako aj pre offline meranie v kombinácii s vhodným väzobným kondenzátorom.

2. Permanentný online monitoring s diaľkovým prenosom dát a alarmovaním



Príklad inštalovaných väzobných kondenzátorov na zbernici generátora

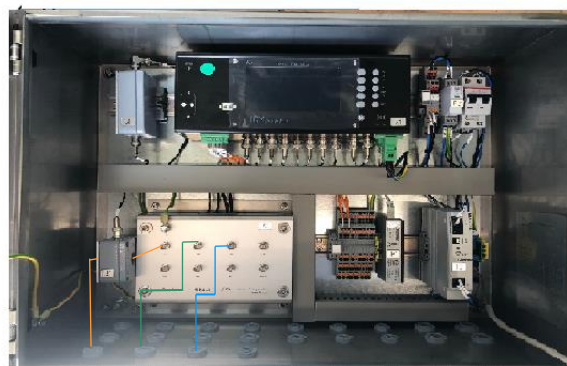
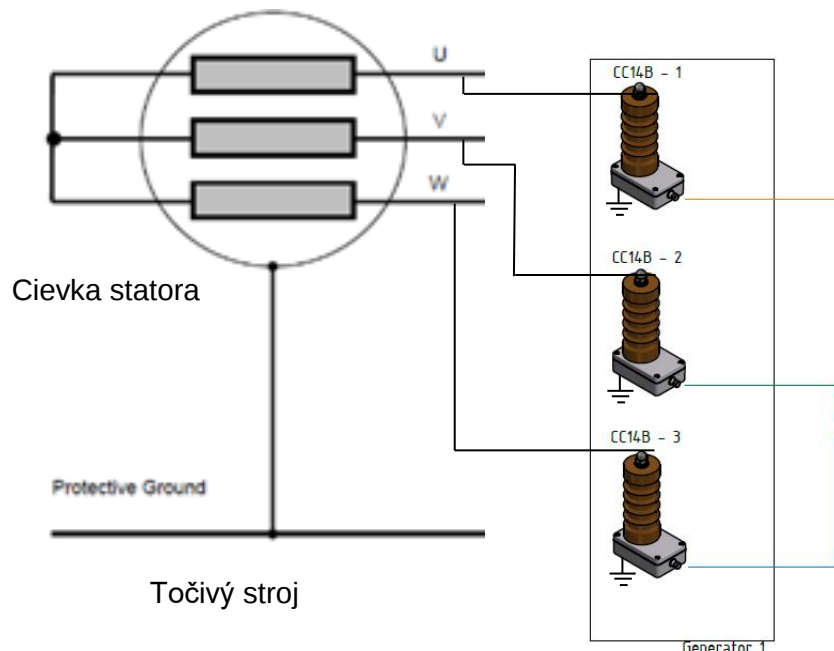


ICMmonitor

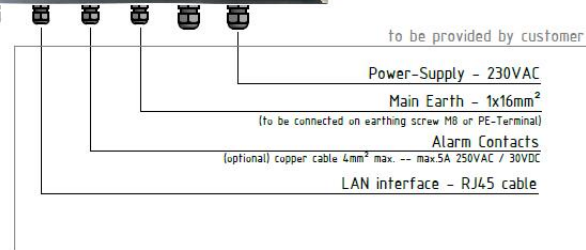
Permanentný online monitorovací systém umiestnený v racku s diaľkovým prístupom k dátam prostredníctvom web rozhrania. 4-kanálové prevedenie, rozšíriteľné na 12 kanálov. Integrovaný Gating (eliminácia rušení).

Bloková schema permanentne inštalovaného systému na online monitoring ČV na točivých strojoch

Väzobné kondenzátory
inštalované na svorkách motora alebo
na zbernici generátora



Rack s monitorovacím
systémom **ICMmonitor**,
predzosilňovačom, HFCT
senzorom pre Gating
(odrušenie), ističom,
prepäťovou ochranou,
LAN rozhraním a mobile
web serverom
pre vzdialený prístup.

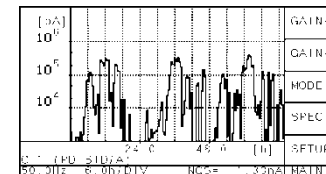
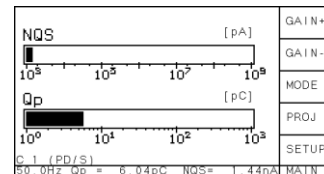
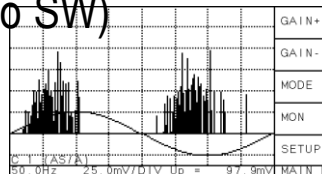
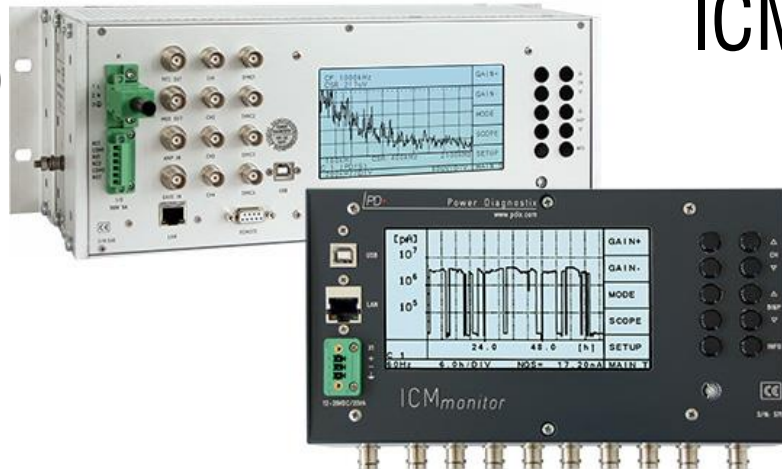


Na výstupe kondenzátorov je signál čiastkových výbojov
so superponovaným napäťovým signálom využívaným
na synchronizáciu.

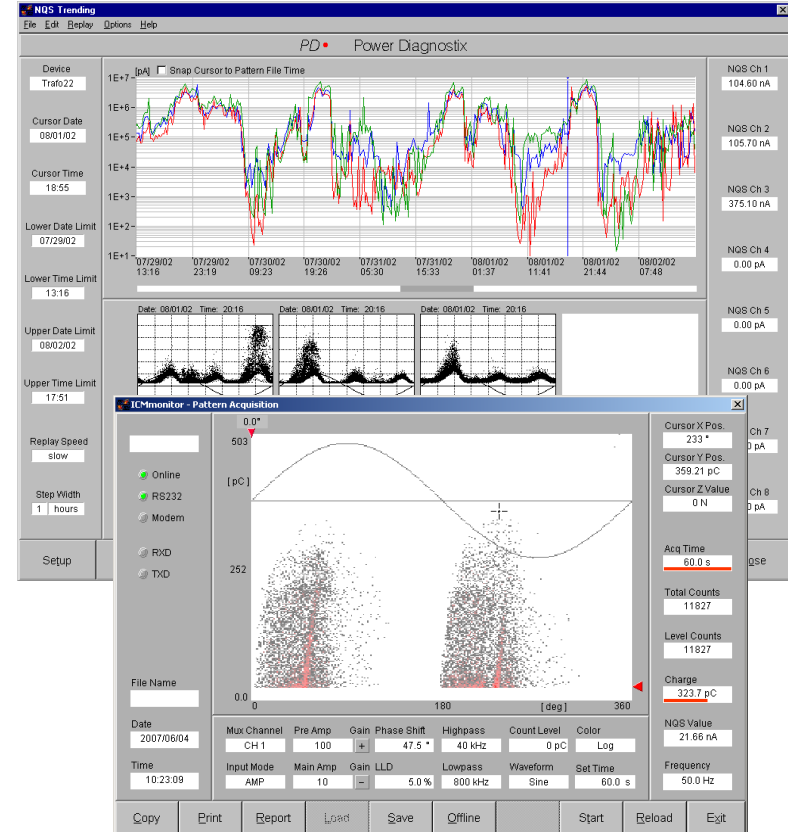
Hardvér pre online monitoring ČV na točivých strojoch

- Frekv. selektívne merania (integrovaný analog. spektrál. analyz.)
- Úzko- a širokopásm. filter
- 4, 8, 12 vstup. kanálov (multiplex)
- Sync & Gating (odrušenie) vstupy
- AC alebo DC napájanie
- LAN & USB rozhranie
- Voliteľné analog. vstupy (4-20mA)
- „Dry Alarm“ kontakty pre integráciu do Scada systémov
- IEC61850 rozhranie (HW alebo SW)
- Ďiaľkový prístup k dátam cez MobileWebServer

ICMmonitor



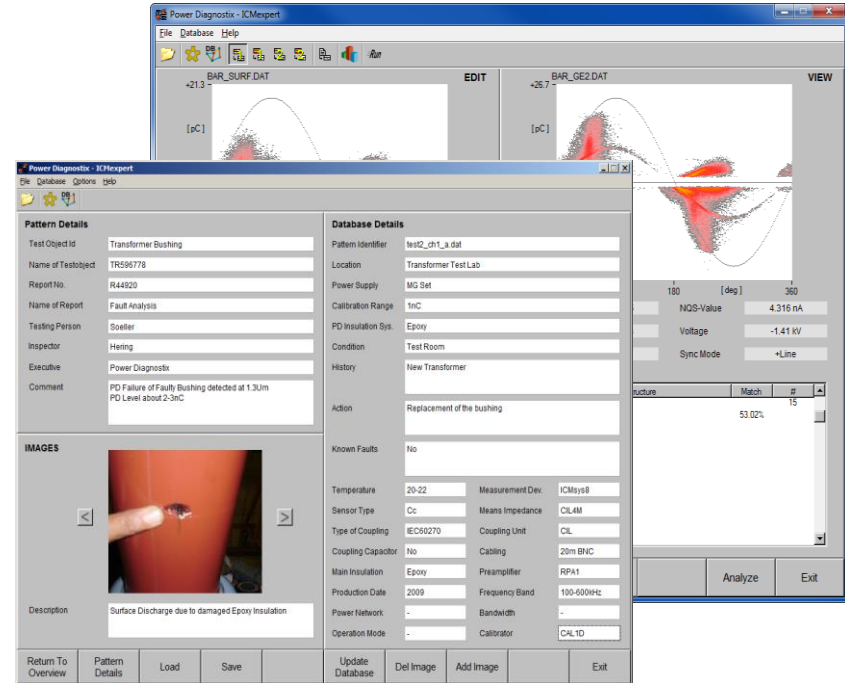
- Diaľkový prístup k neobmedzenému počtu zariadení
- Dlhodobé trendovanie, ukladanie historických dát
- Nastaviteľné alarmy
- Vzorce fázového rozloženia s vysokých rozlíšením
- Automatizované vyhodnotenie
- Viacero možností diaľkového prenosu dát (LAN, GSM) a prístupu (desktop softvér alebo webové rozhranie)



ICMexpert softvér

- Databáza meraní pre asistované vyhodnotenie a interpretáciu
- Porovnanie vzorcov fáz. rozloženia
- Klasifikácia vzorcov fáz. rozloženia
- Ukladanie fotografií, komentárov, nastavení prístroja a dátových súborov
- Nadstavba pre všetky meracie systémy PDIX

Znalostná databáza



Degradácia izolácie statorového vinutia je najčastejšou príčinou porúch točivých strojov, pričom nekontrolované prevádzkové poruchy môžu mať fatálne následky spojené s vysokými nákladmi.

Online monitoring čiastkových výbojov je osvedčeným nástrojom preventívnej údržby a spoľahlivým systémom včasného varovania pred nastupujúcimi degradačnými procesmi.



Online monitoring čiastkových výbojov na generátoroch a motoroch

Ďakujeme za pozornosť !

Kontakt SR:

Ing.Róbert Madarász

robert.madarasz@megger.com

Tel: +421 903 458 168

www.megger.sk

Kontakt CZ:

Ing.Petr Medek

petr.medek@megger.com

Tel: +420 724 564 807

www.megger.cz

Záznamy predchádzajúcich Megger webinárov a registračné
linky nadchádzajúcich webinárov nájdete na:

<https://sk.megger.com/webinars>

<https://cz.megger.com/webinars>

