

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Analýza vlivu nastavení měřicích parametrů detektoru
částečných výbojů na výsledný záznam výbojové činnosti**

**Vedoucí práce: Ing. Petr Martínek Ph.D.
Autor: Bc. Jan Naglmüller**

2012

Anotace

Cílem této diplomové práce je stanovit vliv jednotlivých parametrů nastavitelných na detektoru částečných výbojů na výsledný záznam výbojové činnosti a tím na celkovou přesnost měření. V úvodu je stručně rozebrána problematika částečných výbojů na vysokonapěťových zařízeních a dále následuje konkrétní popis měřící metody a detektoru firmy Power Diagnostix. Bylo provedeno několik měření Korónového výboje a částečných výbojů na přístrojovém transformátoru. Celkem bylo získáno 148 záznamů výbojové činnosti, ze kterých bylo možné určit vlivy jednotlivých parametrů. V závěru práce je uvedeno stručné doporučení, jak s tímto detektorem pracovat, na který parametr si dát velký pozor, a který naopak nemůže měření až tolik ovlivnit.

Klíčová slova

Detektor částečných výbojů, záznam výbojové činnosti, korónový výboj, částečný výboj na přístrojovém transformátoru, mrtvá doba, šířka pásma, zesílení, četnost výbojů, impulz od částečného výboje, vazební kapacita, kalibrátor, režim A/D převodníku.

Abstract

The object of this thesis is to determine the influence of various parameters adjustable on partial discharge detector. The question is who these parameters can affect record of discharge activity. The introduction briefly analyzes the problem of partial discharge on high voltage equipment, then follows a specific description of measurement methods and description of detector from Power Diagnostix. I made couple measurements of corona discharge and partial discharge on high voltage instrument transformer. I got 148 records of partial discharges, from which I was able to determine effects of each parameter. At the end of this thesis is brief recommendations how to work with this detector, which parameter is dangerous and which one can't affect our measurement too much.

Key words

Partial discharge detector, discharge activity record, corona discharge, partial discharge on the instrument transformer, dead time, bandwidth, discharges frequency, pulse from the partial discharge, coupling capacitance, calibrator, A/D converter.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne 7.5.2012

Bc. Jan Naglmüller

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Martínkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky, metodické vedení práce a za veškerý čas, který mi během zpracovávání věnoval. Dále Katedře elektroenergetiky Fakulty elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni za poskytnutí všech potřebných technických prostředků. A v neposlední řadě členům své rodiny a všem přátelům za pomoc a podporu nejen při zpracování této práce, ale také během celé doby studia.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ	8
1 ÚVOD	9
1.1 DRUHY ELEKTRICKÝCH VÝBOJŮ	9
1.2 TOWNSENDOVA TEORIE SAMOSTATNÉHO VÝBOJE	10
1.3 DOUTNAVÝ VÝBOJ.....	12
1.4 OBLOUKOVÝ VÝBOJ.....	13
1.5 ČÁSTEČNÉ VÝBOJE	13
1.6 KLOUZAVÉ VÝBOJE	15
1.7 KORÓNOVÝ VÝBOJ.....	15
2 POPIS MĚŘICÍ METODY	17
3 NASTAVENÍ PARAMETRŮ DETEKTORU Č. V.	21
3.1 DEAD TIME / MRTVÁ DOBA.....	21
3.2 LOW LEVEL DISCRIMINATOR / SPOUŠTĚCÍ PRAHOVÁ ÚROVEŇ	22
3.3 TRIGGER MODE / SPOUŠTĚCÍ REŽIM A/D PŘEVODNÍKU	22
3.3.1 Spouštění na první impuls bez opětovného spouštění (FP NRT).....	22
3.3.2 Spouštění na první impuls s opětovným spouštěním (FP RT)	24
3.3.3 Spouštění v časovém okně (TW NRT).....	25
4 ZOBRAZENÍ NAMĚŘENÝCH DAT A REŽIMY DETEKTORU	26
5 VYHODNOCENÍ VLIVU JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ	28
6 ZÁVĚR	34
7 POUŽITÁ LITERATURA	35
8 PŘÍLOHA	36
8.1 ZÁZNAMY VÝBOJOVÉ ČINNOSTI.....	36
8.1.1 Korónový výboj.....	36
8.1.2 Částečné výboje na přístrojovém transformátoru.....	47
8.2 TABULKY ČETNOSTÍ PRO JEDNOTLIVÁ MĚŘENÍ	55
8.2.1 Korónový výboj.....	55
8.2.2 Částečné výboje na přístrojovém transformátoru.....	57
8.3 FOTOGRAFIE Z PRŮBĚHU MĚŘENÍ.....	59

Seznam symbolů

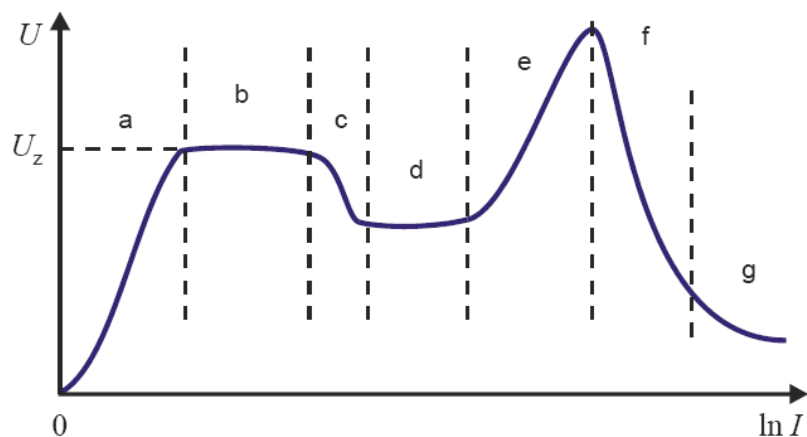
VN	Vysoké napětí
U_i [V]	Zapalovací napětí
V-A	Volt ampérová charakteristika
E_k	Kinetická energie
A_i	Ionizační energie
LLD	Spouštěcí prahová úroveň
FP-NRT	Spouštění na první impulz bez opětovného spuštění
FP-RT	Spouštění na první impulz s opětovným spuštěním
TW-NRT	Spouštění v časovém okně
ČV	Částečný výboj

1 Úvod

1.1 Druhy elektrických výbojů

Za normální teploty je plyn tvořen neutrálními atomy nebo molekulami a z pohledu elektrické vodivosti je velmi dobrým izolantem. Pro umožnění průchodu proudu ve vnějším elektrickém poli je třeba ionizační činidlo. Tím může být ultrafialové, rentgenové, gama nebo kosmické záření. Také vysoká teplota, částice s vysokou energií a silné elektrické pole. V důsledku přirozené ionizace, způsobené radioaktivním zářením Země nebo kosmickým zářením Vesmíru, může ve slabém elektrickém poli atmosférou na zemském povrchu protékat pouze velmi slabý proud s hustotami 10^{-12} až 10^{-6} Am⁻². V zemské atmosféře se tímto způsobem vytváří v jednom cm krychlovém asi 1000 iontových párů za 1 sekundu. Je třeba dodatečné ionizační činidlo pro vedení elektrického proudu větší hustoty a takto vzniklé výboje nazýváme nesamostatné. Pokud je elektrické pole dostatečně silné, případně působí-li ve sníženém tlaku, vytvoří se počet iontů a elektronů vhodný pro samostatné udržení proudu a vznikají výboje samostatné.

V následující V-A charakteristice můžeme znázornit několik základních druhů elektrických výbojů.



Obr. 1: Druhy elektrických výbojů

Počátek křivky (oblast a) vyznačuje nesamostatné výboje. Během nich prochází jen velmi slabý proud. Dosáhne-li napětí hodnoty U_z (zápalné napětí) je pole mezi elektrodami dostatečně silné a dochází k urychlení elektronů. Takto urychlené elektrony

narážejí na ionty a mohou z nich v celém objemu výboje uvolňovat další elektrony. Urychlené ionty dopadají na katodu, ze které uvolňují elektrony v takovém množství, které stačí pro vytvoření dalších generací elektronů a tedy k udržení samostatného výboje. Proud v elektrických výbojích povětšinou vedou elektrony, protože, v porovnání s ionty, mají menší hmotnost a také v elektrickém poli větší pohyblivost. Při proudech 10^{-10} až 10^{-5} A je kinetická energie elektronů malá a jejich srážky tedy nejsou doprovázeny emisí viditelného záření, ale projevují se šuměním, syčáním a prskáním – nazýváme je temným Townsendovým výbojem.

V grafu tyto výboje znázorňuje oblast *b*.

Oblast *c* je charakteristická pro korónový výboj, a oblast *d* pro normální doutnavý výboj. Při doutnavém výboji je energie a hustota proudu nízká. A proto katoda i plyn v trubici zůstávají chladné. Výboj příslušející oblasti *e* na křivce je anomální elektrický výboj. Charakterizují ho vyšší proudové hustoty a vyšší teplota katody. Doutnavý a Townsendův výboj zpravidla probíhají ve zředěných plynech a tlacích desetin až setin procent atmosférického tlaku. V oblasti *f* probíhá jiskrový výboj, který pro svůj vznik potřebuje proudy více kA. Zapaluje při silném elektrickém poli o intenzitě přibližně 10^6 V/m, jiskrový kanál má vysokou vodivost a po propojení obou elektrod se napětí mezi elektrodami sníží na desítky až stovky volt.

Je-li dostatečně silný proudový zdroj, parametry výboje budou odpovídat oblasti *g* a výboj se nazývá obloukový. [1],[3]

1.2 Townsendova teorie samostatného výboje

Pro vznik samostatného výboje je nutná přítomnost dostatečně silného elektrického pole. A to ze dvou důvodů:

1. Je nutné urychlit volné elektrony na takové energie, kdy budou schopny samy ionizovat atomy nebo molekuly (objemová ionizace)
2. Je nutné urychlit ionty u katody tak, aby se narážením iontů do katody uvolňovaly další elektrony (povrchová ionizace, emise)

Každý volný elektron v elektrickém poli mezi dvěma srážkami proběhne střední volnou dráhu X a získá kinetickou energii E_k a poté při srážce s atomem nebo molekulou jim tuto energii předá.

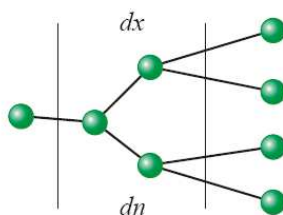
$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \geq A_i \left(1 + \frac{m}{M}\right)$$

kde A_i je ionizační energie. Výstupní práce souvisí s ionizačním potenciálem X

$$A_i = e\varphi_i$$

Člen m/M v rovnici vyplývá ze zákona zachování hybnosti.

Seznámíme se s Townsendovými úvahami umožňujícími stanovit podmínky pro samostatný výboj. Nechť z katody vyletí elektron. Je urychlován elektrickým polem a naráží do atomů nebo molekul. Ve vrstvě šířky dx vyrazí dn nových elektronů



Obr. 2: Schéma ionizace při elektrickém výboji.

$$dn = \alpha n dx$$

kde α je koeficient objemové ionizace, tzv. první Townsendův koeficient. Rovnici lze integrovat na tvar

$$n = n_0 e^{\alpha x}$$

Označíme-li vzdálenost elektrod d , vytvoří každý elektron ($n_0 = 1$) n nových elektronů, které dopadají na anodu, tj.

$$n = n_0 e^{\alpha d}$$

Stejný počet iontů dopadá na katodu a s účinností γ vyráží elektrony druhé generace.

Koeficient γ je koeficient emise, 2. Townsendův koeficient. Počet elektronů v druhé generaci je potom

$$n = n_0 (e^{\alpha d} - 1) \chi$$

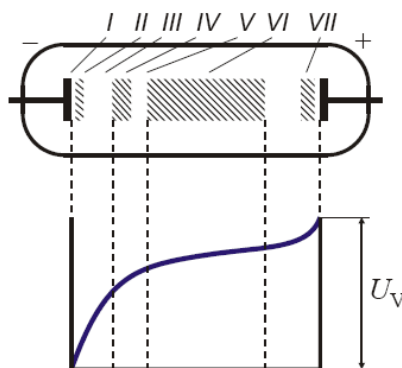
Je zřejmé, že je možné formulovat podmínku pro existenci samostatného výboje ve tvaru:

$$n_0 (e^{\alpha d} - 1) \chi \geq n_0 \quad \text{a z toho plyne} \quad (e^{\alpha d} - 1) \chi \geq 1$$

1.3 Doutnavý výboj

Realizuje se většinou při nízkých tlacích – do desítek Pa. Jako výbojky jsou použity skleněné trubice do délky 1 metru. Zápalné napětí U_z má hodnotu několik stovek voltů. Na obrázku jsou vidět typické součásti doutnavého výboje a rozložení potenciálu.

1. Katodový temný prostor – oblast, kde jsou urychleny elektrony směrem k anodě a ionty směrem ke katodě
2. Katodové (záporné) světlo – prostor, kde dochází k ionizaci a záření iontů
3. Crookesův tmavý katodový prostor – zde dochází k urychlení elektronů
4. Prostor doutnavého katodového světla – dochází zde k ionizačním a excitačním srážkám a elektrony ztrácejí část své energie.
5. Faradayův temný prostor – oblast, kde elektrony a ionty nekombinují.
6. Kladný světelný sloupec – prostor, kde svítí neutrální molekuly a atomy a nabitě částice unikají ke stěně, kde nekombinují
7. Anodové doutnavé světlo

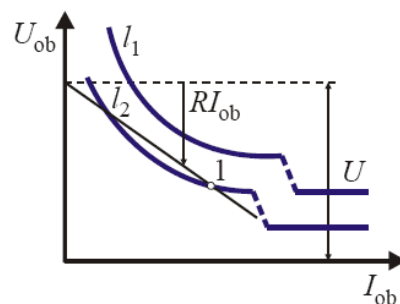


Obr.3: Doutnavý výboj, hlavní části a průběh potenciálu

Pro světelné efekty se využívá katodový sloupec, který obvykle vyplňuje prostor celé trubice. Doutnavé výboje je možné realizovat ve dvou režimech. Při normálním doutnavém výboji je proudová hustota nízká a nezávisí na proudu. Při růstu proudu se plocha využití katody rozšiřuje. Oproti tomu při anomálním doutnavém výboji roste proudová hustota s proudem a dochází k zahřívání katody. [1],[3]

1.4 Obloukový výboj

Od doutnavého výboje se liší vysokou proudovou hustotou a nižším provozním napětím (desítky volt) a také rozžhavenou elektrodou, na které dochází k termoemisi elektronů. Všechny procesy probíhají intenzivně při podstatně vyšších energiích než u doutnavého výboje. V grafu je schématicky znázorněn obloukový výboj.

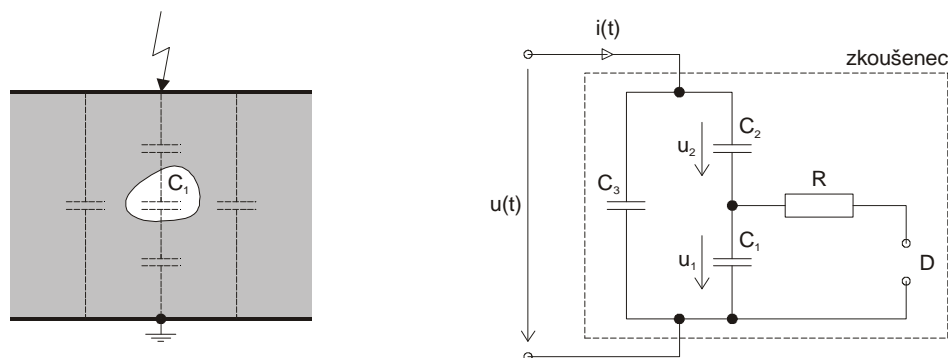


Obr.4: Znázornění obloukového výboje

Z pohledu vysokonapěťové techniky mají největší význam výboje částečné, klouzavé a korónový výboj. [1],[3]

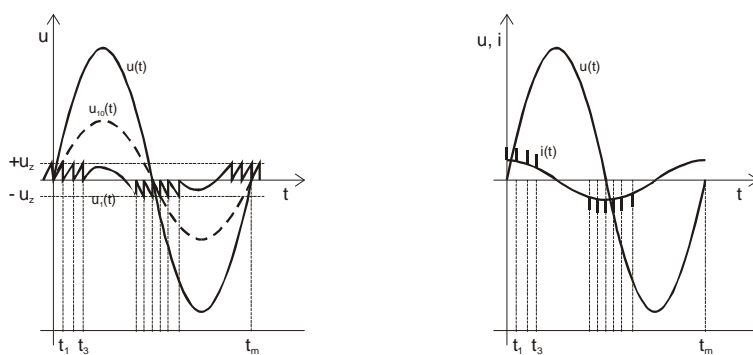
1.5 Částečné výboje

V izolacích objektů vn a vvn (točivé stroje, transformátory, kondenzátory, kabely) se mohou nacházet a nacházejí malé dutinky vyplněné plynem. Zvyšuje-li se střídavé napětí přiložené na tento objekt, objeví se při dosažení určité hodnoty napětí v těchto dutinkách výboj. Vzhledem k tomu, že ale výboj nepřemostňuje celou vzdálenost mezi elektrodami, ale má pouze lokální charakter, nazývá se částečný. Projevují se jako malé, krátké impulzy, které superponují na průběh kapacitního proudu procházejícího objektem, a které se při určitém napěťovém zatížení pravidelně opakují.



Obr. 5: Dutina v dielektriku a její náhradní schéma

Na obrázku 6 je znázorněno dielektrikum s dutinkou a náhradní obvod pro toto uspořádání, kde C_1 je kapacita dutiny, C_2 je kapacita zdravého dielektrika připojená v sérii k dutince a C_3 kapacita zkoušence paralelně se sériovou kombinací C_1 , C_2 . Přiložíme-li střídavé napětí na svorky obvodu, bude výsledný průběh napětí a proudu podobný jako na obrázku 7. Mohou zde nastat dva případy: 1. Nedojde k průrazu dutinky; 2. Dojde k průrazu dutinky

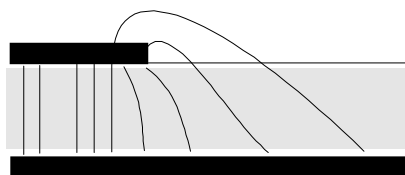


Obr. 6: Napětí na C_1 ; Napětí a proud na svorkách zkoušence

Proudové impulzy vyvolané částečnými výboji, v oboru zapříčiňují přerozdělení náboje na příslušných kapacitách. Ze zdroje je pak nutné dodat takový náboj, který kompenzuje úbytek napětí vyvolaný výbojem. Výboje v dutinkách mívají charakter lavinových nebo drobných jiskrových výbojů. Obsahují-li dutinky kyslík, vzniká při výbojích ozón, který má intenzivní oxidační účinky a zapříčiňuje stárnutí dielektrika a jeho poškození. [1],[3]

1.6 Klouzavé výboje

Klouzavé uspořádání v praxi nalezneme u průchodek, kabelových koncovek a výstupu vinutí z drážek. Přestoupí-li zde střídavé nebo rázové napětí určitou velikost, vznikají na povrchu pevného izolantu tzv. klouzavé výboje.



Obr. 7: Klouzavé uspořádání

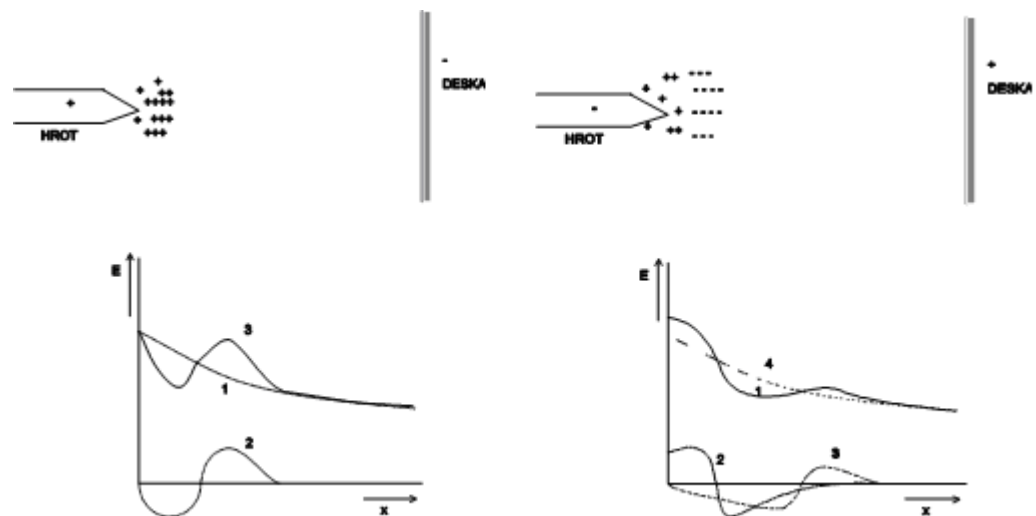
Vznik: Zvyšuje-li se napětí, tak na povrchu izolantu se nejprve vytvoří souvislý výbojový prsten (příslušné napětí nazýváme počáteční napětí koróny). Zvyšujeme-li napětí dále, šíří se výboj po povrchu izolační trubky ve formě drobných vláken. Při záporné polaritě elektrody je délka vláken menší a světelnost větší, než při kladné. Přestoupí-li přiložené napětí určitou kritickou velikost, začínají vlákna podstatně rychleji růst. Pokračujeme-li ve zvyšování napětí, přecházejí vlákna v klouzavé jiskry, které přeskakují na druhou elektrodu.

Klouzavé výboje na povrchu tuhých izolantů nejsou žádoucí. Je třeba speciálních opatření, k zamezení jejich vzniku. A ztížení jejich rozvíjení. V praxi je možné řídit rozložení napětí podél povrchu dielektrika tak, že se jeho povrch pokrývá polovodivou vrstvou (časté použití u točivých strojů, na vinutí statoru). Také je možné použít vestavěná stínítka galvanicky spojená s vnějšími elektrodami. Tato stínítka zmenšují intenzitu pole u okrajů vnějších elektrod, tím se dosáhne zvýšení počátečního napětí. Na povrchu průchodek je naopak možné vytvářet drážky a žebra různých tvarů, čímž se prodlužuje dráha výboje a je tedy ztížený jeho postup po povrchu. [1],[3]

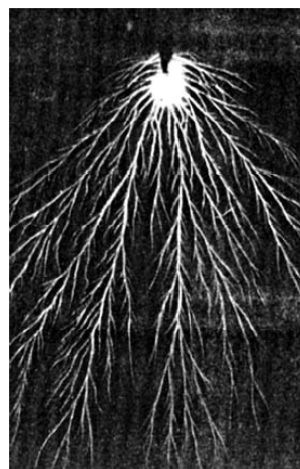
1.7 Korónový výboj

Samostatný výboj vznikající v silně nehomogenním poli, při tzv. počátečním napětí na elektrodě s malým poloměrem zakřivení. Je-li napětí na elektrodě větší než počáteční napětí koróny, obalí se elektroda s malým poloměrem svítící vrstvou, která je doprovázena

zvukovými efekty (šum, praskání). Na vedení vn a vvn je vznik koróny nežádoucí, protože koróna značně zvyšuje ztráty přenášené elektrické energie a má rušivé účinky na rozhlasové a televizní vysílání a v neposlední řadě vzniká během koróny ozón, který způsobí korozi kovových částí vedení. Vznikne-li koróna na vedení při přepětí (např. úder blesku), přispívá k utlumení tohoto rázu. [1],[3]



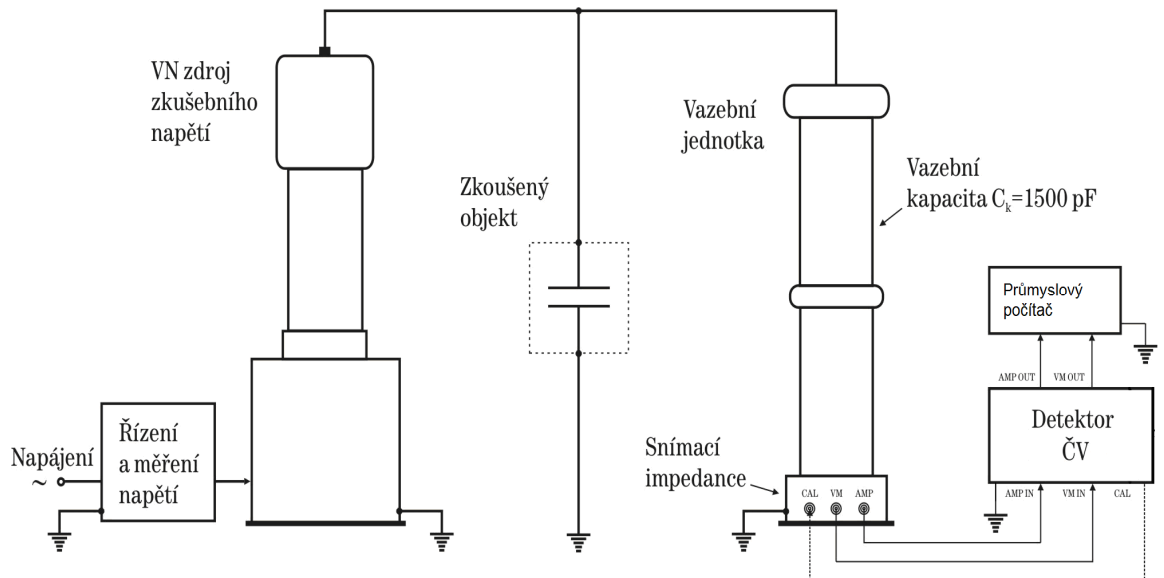
Obr. 8: Vliv polarity na rozložení intenzity elektrického pole



Obr. 9: Fotografie korónového výboje

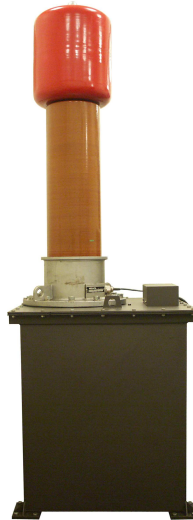
2 Popis měřicí metody

Pro představu si zde uvedeme nejdříve blokové schéma celého měření. Při měření je použit zdroj střídavého vysokého napětí (regulovatelný), vazební kapacita a snímací impedance, předzesilovače a detektor částečných výbojů připojený k průmyslovému počítači. Dříve se místo detektoru a PC využíval detektor částečných výbojů vybavený osciloskopickou obrazovkou, toto zařízení bylo schopné provádět kvaziintegraci proudových impulzů od částečných výbojů. S nástupem digitální techniky a rozšíření počítačů se od něho upustilo a dnes se využívá ve většině případů právě detektor.



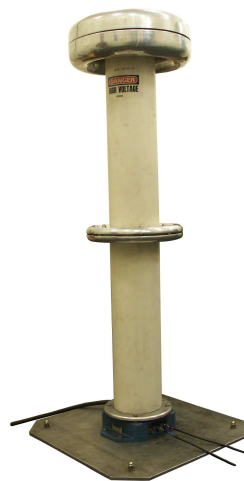
Obr. 10: Blokové schéma měření

Zkušební obvod napájí zdroj zkušebního napětí. Je tvořen autotransfornátorem, který zde slouží k regulaci a měření velikosti napětí, a vysokonapěťovým transformátorem, který pracuje zcela bez částečných výbojů a nedochází tak ke zkreslování měření.



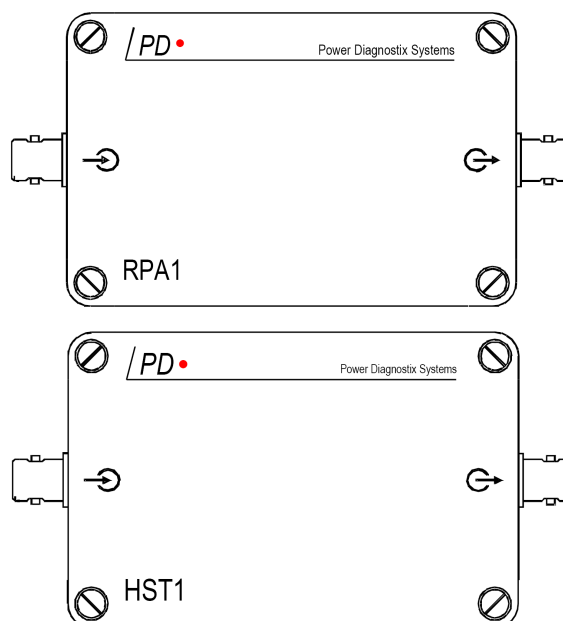
Obr. 11: Vysokonapěťový zdroj

Velmi důležitou roli zastává snímací impedance. Je umístěna ve spodní části vazební kapacity, kde je připojena na její nízkonapěťovou část. Snímací impedance spolu s vazební kapacitou tvoří kapacitní napěťový dělič s převodem 1:1000.



Obr. 12: Vazební jednotka

Signál na výstupu snímací impedance je přiveden na předzesilovače. Jejich hlavním úkolem je signál optimalizovat pro datový přenos. Při měření jsme používali dva předzesilovače (RPA1 a HST1). Předzesilovač RPA1 je použit na impedanční přizpůsobení měřící cesty, nedochází díky němu k zatížení snímací impedance kapacitou kabelu. HST1 přivádí obraz zkušebního napětí z nízkonapěťové strany děliče na synchronizační vstup SYNC IN bloku DPR3, který je součástí detektoru.



Obr. 13: Předzesilovače RPA1 a HST1

Digitální měřicí detektor je v současné době nejmodernějším měřícím zařízením určeným pro měření částečných výbojů. Tato zařízení mívají velice často veškeré řídicí a zobrazovací prvky přístupné pouze prostřednictvím grafického rozhraní počítače. Hlavní rozdíl při použití digitálního detektoru oproti klasickému analogovému osciloskopu spočívá v tom, že měřený signál získaný na snímací impedanci je po zesílení převeden pomocí A/D převodníku z analogové do digitální podoby, přiveden do počítače, kde je pomocí ovládacího softwaru zpracován a vyhodnocen. Impulzy částečných výbojů jsou rozříděny podle velikosti impulzů, fáze výskytu ve vztahu k fázi zkušebního napětí a podle jejich četnosti. Tyto základní sledované parametry je poté možné zobrazit ve trojrozměrných grafech, na kterých je vše vidět v patřičných souvislostech. Velkou výhodou celého převodu získaných impulzů na digitální binární data je možnost opětovného vyvolání již zjištěných hodnot pro pozdější zpracování nebo vyhodnocení. Pokročilejší možnost zpracování nám může posloužit jako velmi dobrá pomůcka pro zjištění charakteristických projevů částečných výbojů pro konkrétní elektrická zařízení nebo pro určení vad v jejich izolaci. V našem případě byl použit přístroj firmy Power Diagnostix. Celý přístroj je sestaven jako modulární zařízení a tvoří ho několik navzájem spolupracujících bloků.

Přehled jednotlivých bloků přístroje:

AC2 – napájecí modul

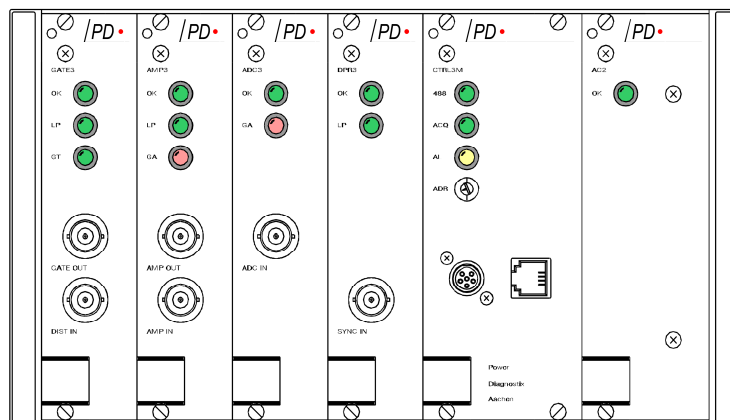
CTRL3 – řídicí modul, slouží pro komunikaci s PC pomocí rozhraní GPIB nebo sériového rozhraní

DPR3 – logické obvody, fázové a časové základny, vícekanálová paměť, obvody pro měření zkušebního napětí, vzorkování zkušebního signálu

AMP3 – hlavní zesilovač, vstupní jednotka pro měřený signál,

ADC3 – analogově digitální převodník, velmi důležitá část, nutné vhodné nastavení A/D převodníku v ovládacím menu na počítači

GATE3 – modul pro hradlování, zabraňuje zkreslení měření vnějším rušením (při měření v laboratorních podmínkách jeho činnost není nutná)



Obr. 14: Digitální detektor částečných výbojů použitý při měření

Před začátkem měření je třeba celou metodu zkalibrovat pomocí tzv. kalibrátoru. Je to zařízení, které připojíme paralelně k měřenému přípravku v beznapětovém stavu, a které vysílá do obvodu pulzy známé velikosti a frekvenci. Přesnost frekvence je zabezpečena pomocí optického snímače na kalibrátoru, který synchronizuje frekvenci vysílaných pulzů s frekvencí zdroje světla, který pracuje na síťové frekvenci. [1],[2],[3]

3 Nastavení parametrů detektoru č. v.

Velmi důležité je provést mimo kalibrace také vhodné nastavení detektoru. Uvedeme si zde čtyři nejdůležitější parametry, které mají na činnost detektoru a na výsledný záznam největší vliv. Při jejich nevhodném nastavení může docházet k velkým nepřesnostem měření či ke ztrátě funkčnosti detektoru. Pro začátek je nejdůležitější zvolit vhodnou kombinaci zesílení předzesilovače a hlavního zesilovače. Nastavení jednotlivých zesílení je takovým kompromisem mezi úrovní zesilovaného šumu a nebezpečím přetížení předzesilovače. Použijeme-li velmi malé zesílení hlavního zesilovače, může dojít k přetížení předzesilovače a naopak, zvolíme-li zesílení hlavního zesilovače příliš velké, hrozí nám riziko nadměrného zesílení vstupního šumu. Výrobce zařízení dodává jako příbalovou informaci i tabulku vhodných kombinací jednotlivých zesílení, tak aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění měření. Nastavení obou zesilovačů je přehledně umístěno v grafickém rozhraní, kde je možné sledovat aktuální úrovně zesílení a podle momentální úrovně měřených výbojů je případně upravit.

Další parametry, které si zde rozebereme, jsou tzv. mrtvá doba, spouštěcí prahová úroveň, a spouštěcí režim A/D převodníku. [2]

3.1 Dead time / Mrtvá doba

Dead time je parametr, který představuje dobu vyhrazenou (potřebnou) pro zpracování jednoho impulsu částečného výboje. Během této doby dochází k převodu analogového signálu od impulsu do digitální podoby a A/D převodník nepřijímá další signály částečných výbojů. Pokud A/D převodník nastavíme do režimu „spouštění na první impuls“, každý další impuls, který přijde během mrtvé doby, není zahrnut do měření. Minimální vnitřní hodnota mrtvé doby A/D převodníku dosahuje 0,5 μ s. Vezmeme-li v úvahu maximální měřitelnou opakovací frekvenci příchozích impulsů (200kHz) limitovanou vlivem omezené šířky

přenášeného pásma použitých zesilovačů, skutečná minimální hodnota dosažitelné mrtvé doby je 5 μ s. Tento parametr by měl být volen co nejmenší, ale zároveň dostatečně dlouhý na to, aby se zamezilo případným opakovaným záznamům jednoho impulsu díky oscilačnímu dozrívání impulsu. Dosáhne-li během měření nasčítaná velikost mrtvé doby vysokých hodnot, dochází ke snížení statistické věrohodnosti výsledného záznamu a tím i celého měření. Relativní velikost kumulované mrtvé doby ve vztahu k délce doby měření je indikovaná na obrazovce grafického rozhraní.

3.2 Low Level Discriminator / Spouštěcí prahová úroveň

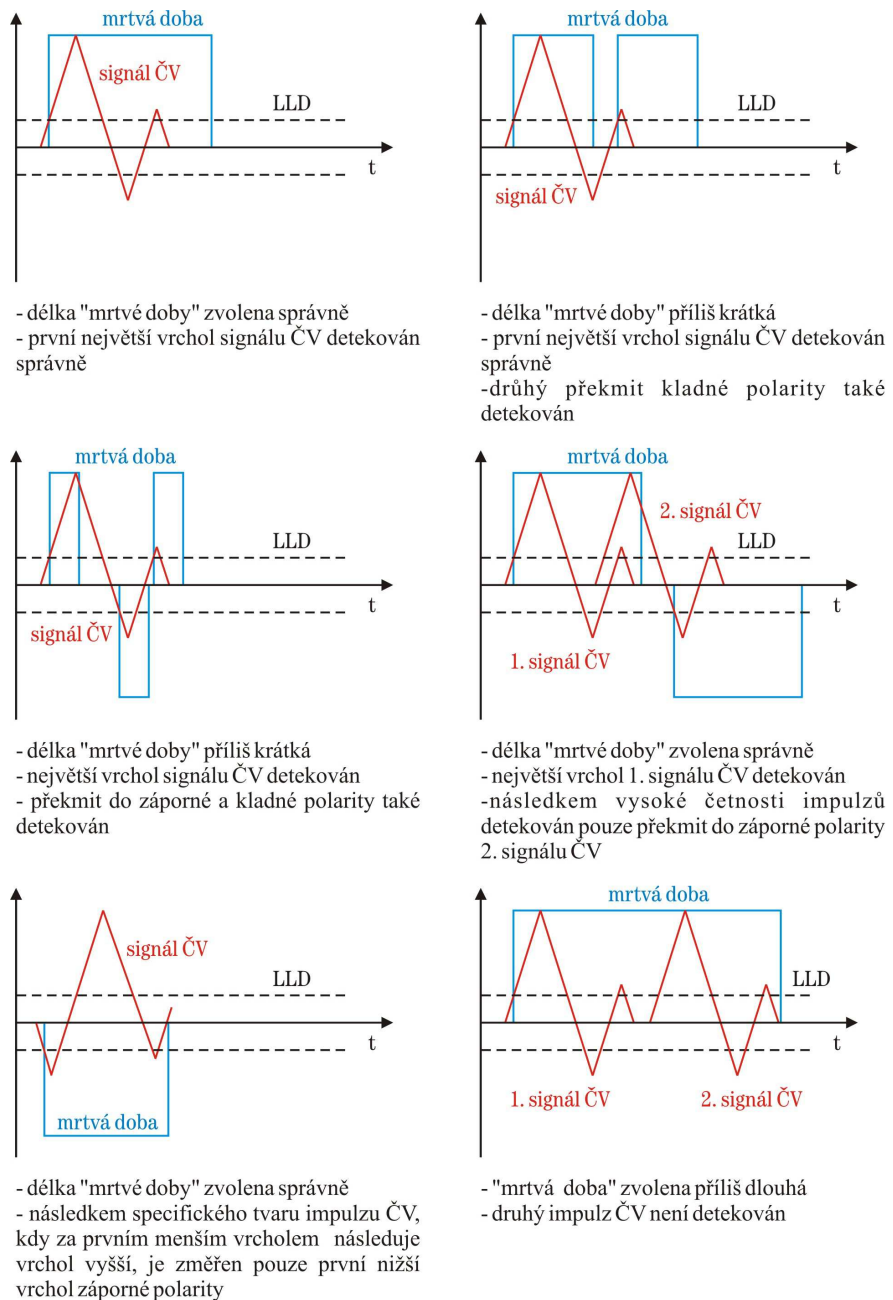
Další parametr představuje minimální velikost amplitudy, které musí impuls dosáhnout, aby byl zaznamenán. Pokud signál od výboje dosáhne této nastavené velikosti, je spuštěn A/D převod a signál se zpracuje do výsledného záznamu. V opačném případě dojde k potlačení tohoto signálu a ve výsledném záznamu se neobjeví. Využíváme toho k odstranění hladiny šumu, která je trvale přítomna v měřeném signálu a mohla by nám negativně ovlivnit přesnost a věrohodnost měření a také k potlačení impulsů majících malou četnost a velikost. Při správném zvolení LLD se nám během měření snižuje celková mrtvá doba. Nevhodná volba může vést ke ztrátě některých impulsů velkých amplitud, pokud přijdou během zpracovávání malých impulsů v A/D převodníku. Aby k těmto ztrátám nedocházelo, je důležitá právě správná volba LLD a nebo změna režimu A/D převodníku. Námi zvolená LLD je použita pro obě polarity stejně a velikost spouštěcí úrovně je vyjádřena jako procenta z maximálního zobrazeného rozsahu měřeného náboje. Nyní si řekneme něco o spouštěcím režimu A/D převodníku. [2]

3.3 Trigger mode / Spouštěcí režim A/D převodníku

Pro účely měření je možné nastavit A/D převodník do tří různých režimů spouštění. Rozebereme si tedy postupně jeden po druhém.

3.3.1 Spouštění na první impuls bez opětovného spouštění (FP NRT)

Nastavíme-li detektor do tohoto režimu, je zaznamenán první impuls, který překročí zvolenou úroveň LLD. Určí tak polaritu výboje a spustí vlastní A/D převod impulsu z analogové do digitální podoby. Během nastavené mrtvé doby se již žádný další impuls nezpracovává.



Obr. 15: Režim A/D převodníku FP-NRT

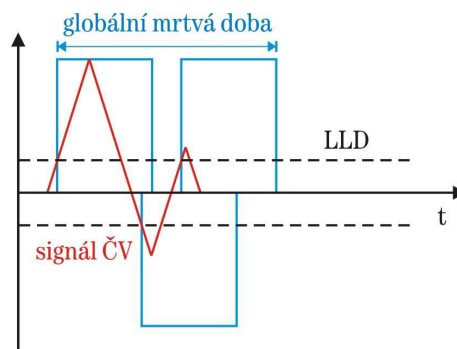
Z obrázků je patrné že, zvolíme-li mrtvou dobu příliš malou, dojde k mnohačetnému záznamu jednoho impulzu. Naopak přílišné prodloužení mrtvé doby způsobí ztrátu některých impulzů a dochází tedy k nepřesnostem ve výsledném záznamu výbojové činnosti, výsledná četnost výbojů se bude lišit od skutečnosti. Velikost LLD volíme o něco větší než je úroveň šumu, tím se předejde velkému nárůstu kumulativní mrtvé doby. Pokud by nebyla LLD

dostatečně vysoká, detektor by byl příliš zaměstnán konverzí šumových impulzů a docházelo by opět ke ztrátě signálů velkých amplitud reprezentujících skutečné částečné výboje.

3.3.2 Spouštění na první impulz s opětovným spouštěním (FP RT)

V tomto režimu dochází k automatickému prodlužování mrtvé doby, aby se zabránilo mnohačetnému záznamu jednoho impulzu (vlivem oscilačního charakteru měřeného signálu). Celková mrtvá doba se tak vhodně přizpůsobuje době doznívání impulzu. Tento režim je standardní volbou, která je vyhovující pro většinu prováděných měření částečných výbojů na zařízení. Obdobně jako v předchozím případě zde první impulz, který překročí LLD, určí polaritu výboje a dokud neuplyne zvolená mrtvá doba, žádný další signál se nezpracovává. Na následující sérii obrázků lze snadno demonstrovat vliv jednotlivých parametrů na způsob vyhodnocení přicházejícího měřeného signálu při použití tohoto režimu A/D převodníku pro různé tvary impulzů.

Režim FP RT umožňuje vhodné přizpůsobení účinné mrtvé doby. Dochází zde k rozšíření úvodní mrtvé doby na tzv. globální mrtvou dobu a to v případě, že se během zpracovávání jednoho signálu objeví další, který překročí LLD. Toto opatření zabraňuje opětovnému načtení jednoho impulzu. Pro názornost je vše vidět na následujícím obrázku.



- zamezeno mnohačetným detekcím jediného impulzního signálu ČV
- automatické rozšíření "mrtvé doby" na "globální mrtvou dobu"

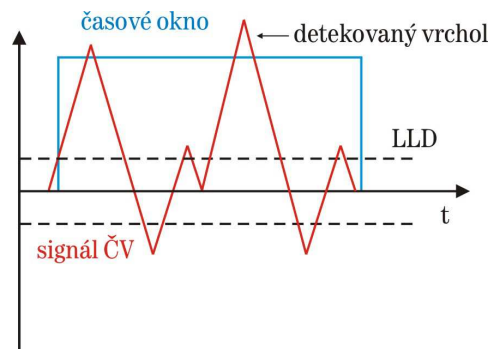
Obr. 16: Režim A/D převodníku FP-RT

Tato automatická volba mrtvé doby přináší na jednu stranu velkou výhodu, nicméně na straně druhé je zde velké riziko enormního nárůstu kumulativní mrtvé doby při zpracovávání impulzu s velkou četností nebo při příchodu výrazně oscilačního signálu.

Velice nepříjemná je situace, kdy je LLD nastavena příliš nízko. V takovém případě může vést nárůst mrtvé doby až k celkové „slepotě“ detektoru.

3.3.3 Spouštění v časovém okně (TW NRT)

V tomto režimu dochází k určení výsledné polarity a velikosti impulzu až po ukončení tzv. časového okna. Vlastnosti měřicí cesty od místa zdroje až po vstup A/D převodníku můžou v některých případech způsobit specifickou odezvu měřeného signálu. Je tedy možné, že na vstupu máme signál, ve kterém je první menší impulz následován velkým (překmitem). V takovém případě je tedy nejlepší používat TW NRT režim.

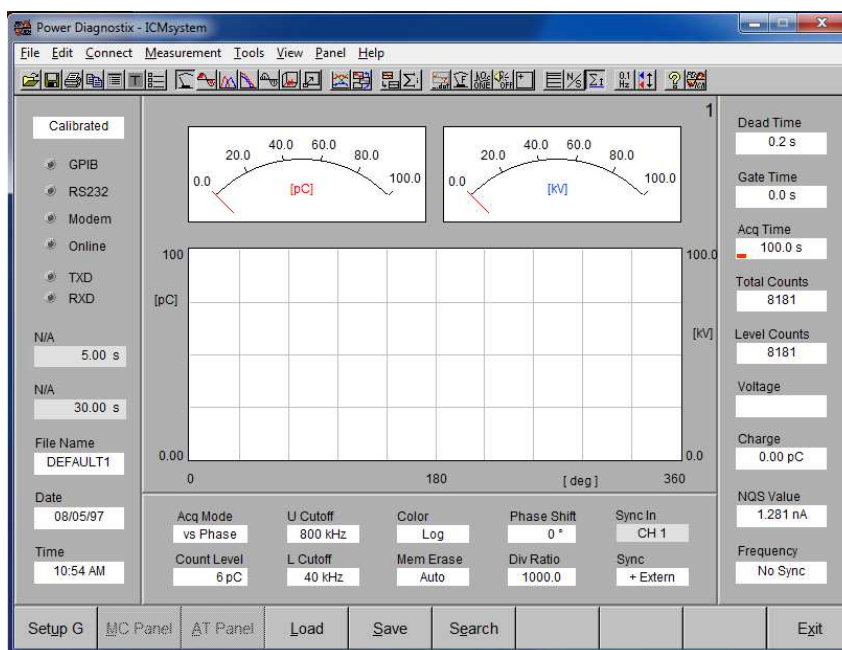


Obr. 17: Režim A/D převodníku TW-NRT

Celková mrtvá doba zde představuje jakési okno, během kterého jsou zachytávány všechny příchozí impulzy (jak kladné, tak záporné). Po uplynutí této doby je ze všech impulzů vybrán pouze ten největší a ten je poté převeden A/D převodníkem a uložen do paměti, přičemž ostatní impulzy zůstanou opomenuty. Nastavení LLD zde není tak důležité jako v předešlých případech, nevhodná volba nemusí nutně způsobit ztrátu všech velkých impulzů. [2]

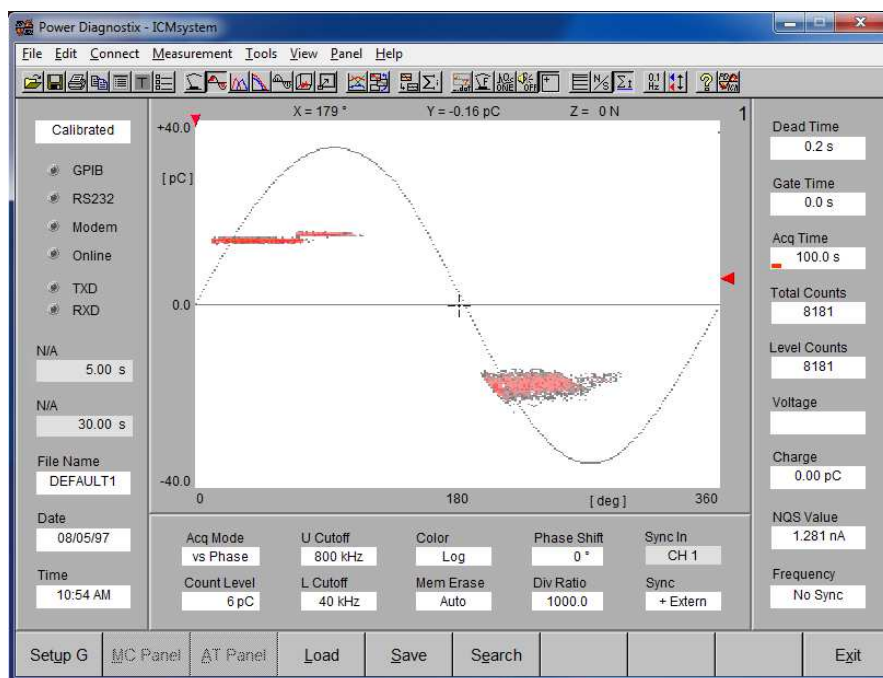
4 Zobrazení naměřených dat a režimy detektoru

Detektor částečných výbojů může pracovat ve dvou režimech - standardní režim a režim sběru dat. První režim slouží ke vhodnému nastavení parametrů detektoru a jsou v něm měřeny pouze základní veličiny (zkušební napětí, frekvence zvoleného synchronizačního zdroje a velikost zdánlivého náboje impulzů od částečných výbojů). Okamžitá velikost veličin je průběžně zobrazena na obrazovce. Změna nastavení parametrů se okamžitě projeví na úrovních měřených veličin.



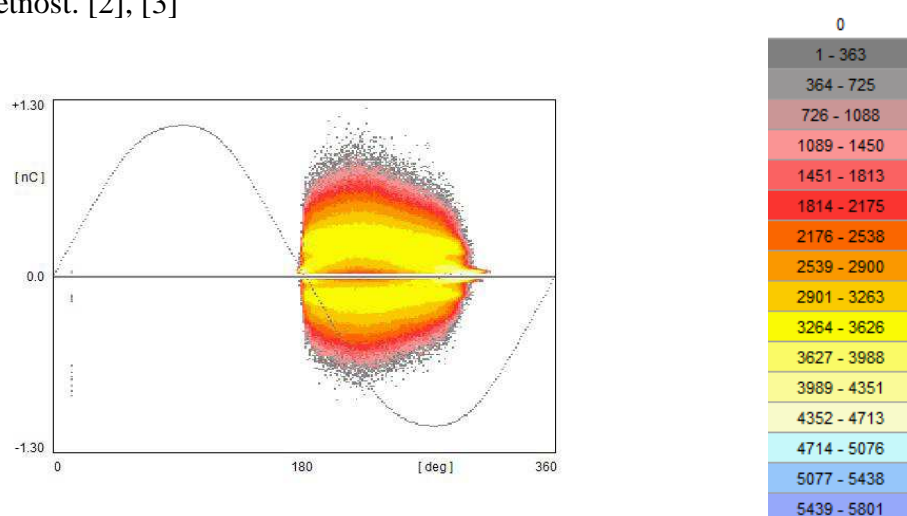
Obr. 18: Režim zobrazení okamžité velikosti měřených veličin

Po vhodném nastavení parametrů lze přejít do druhého režimu a tím je sběr dat. V tomto režimu se spouští plnohodnotný proces měření s následným ukládáním dat. Můžeme si i zvolit po jakou dobu budou data zpracovávána a ukládána (jak dlouho bude naše měření trvat). Celý systém je dokonce schopen provádět sekvenční měření, kde si můžeme zvolit prodlevy mezi jednotlivými záznamy měřené výbojové činnosti.



Obr. 19: Režim sběru dat

Po ukončení měření si můžeme vybrat ze čtyř různých způsobů zobrazení zaznamenaných dat. Jedním z nich je graf ukazující charakter částečných výbojů. Jedná se víceméně o trojrozměrný graf, který ukazuje hodnoty zdánlivého náboje částečných výbojů vzhledem k fázi zkušebního napětí a četnosti jednotlivých impulzů. Pro přehlednost je četnost impulzů o stejné velikosti zdánlivého náboje vyjádřena pomocí barevné škály (od nejnižší – šedá přes červenou a žlutou, až po modrou – největší). Pomocí ukazatele myši je možné vybrat si dané místo v grafu a software okamžitě číselně zobrazí velikost zdánlivého náboje, fázi a četnost. [2], [3]



Obr20: Výsledný záznam výbojové činnosti s barevnou škálou určující četnost výbojů.

5 Vyhodnocení vlivu jednotlivých parametrů

Nyní se dostáváme k samotnému porovnání vlivu jednotlivých parametrů. Pro lepší demonstraci si zvolíme referenční hodnoty těchto parametrů. A to takové: LLD=2%, Dead time = 5 μ s, zesílení 1/20 a frekvenční rozsah 40 – 800 kHz. Měření bylo provedeno na modelu korónového výboje, na přístrojovém transformátoru a vliv nastavení zesílení pouze na měření kalibračního impulzu. Celkem bylo provedeno 8 měření kalibračního impulzu a 69 měření koróny a přístrojového transformátoru. Podrobnější přehled změn v parametrech dokládají následující tabulky.

a)

1	40 - 800	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	
3	40 - 250	
4	80 - 800	
5	100 - 800	
6	80 - 600	
7	100 - 600	
8	80 - 250	
9	100 - 250	
10	10	Změna parametru dead time [μ s]
11	20	
12	50	
13	5	Změna LLD [%]
14	10	
15	20	
16	1/40	Změna zesílení
17	10/8	
18	1/10	
19	1/8	
20	5	Změna parametru dead time při zesílení 10/8 [μ s]
21	10	
22	20	
23	50	

b)

číslo měření	Kalibrační impulz	
	zesílení	
	100pC	10pC
1	1/40	10/20
2	10/8	10/40
3	10/10	100/8
4	1/20	100/10

Tabulka 1: a) změny parametrů při měření koróny a přístrojového transformátoru, b) změny zesílení při měření kalibračního impulzu

Tabulka 1 ukazuje, jak se měnily parametry při měření koróny a transformátoru. Celkem je zde uvedeno 23 měření pro jeden režim A/D převodníku v detektoru částečných výbojů. Volit můžeme ze tří různých režimů a pro každý se měření provádělo naprosto stejně. K porovnávání nám zůstalo tedy 149 záznamů výbojové činnosti (viz příloha).

Pro připomenutí ještě shrneme předpokládaný vliv parametrů na výsledek měření:

1. Dead time – při nevhodné volbě ztráta některých impulzů
2. LLD – „ořez“ záznamu výbojové činnosti
3. Šířka pásma – počet zpracovaných impulzů
4. Zesílení – přesnost konkrétní hodnoty v záznamu
5. Režim A/D převodníku – opět ztráta některých impulzů nebo naopak jejich mnohačetné zaznamenání

Rozdíly mezi jednotlivými nastaveními detektoru jsou ze záznamů dobře patrné, ale uvedeme si zde i tabulky jednotlivých četností a k nim odpovídající grafy. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty z měření koróny (řádky 10 – 23) a transformátoru (řádky 1 – 10).

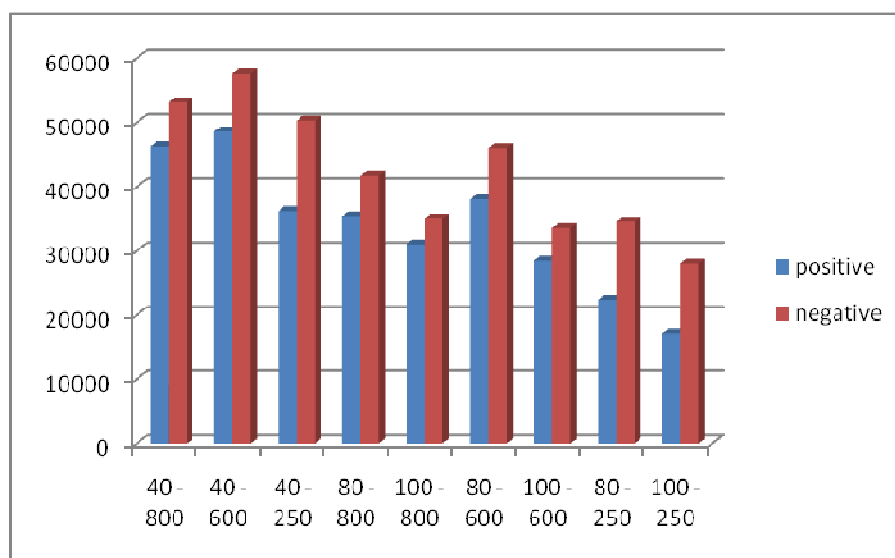
Korónový výboj FP-NRT/Částečný výboj na transformátoru FP-NRT				
		positive	negative	
1	40 - 800	46270	53156	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	48571	57533	
3	40 - 250	36242	50330	
4	80 - 800	35445	41719	
5	100 - 800	31028	35005	
6	80 - 600	38056	46036	
7	100 - 600	28459	33520	
8	80 - 250	22388	34544	
9	100 - 250	17155	28019	
10	10	460433	219507	Změna parametru dead time [μs]
11	20	266936	129144	
12	50	122091	55483	
13	5	908351	47165	Změna LLD [%]
14	10	530594	0	
15	20	1219	0	
16	1/40	710988	529503	Změna zesílení
17	10/8	818415	451285	
18	1/10	799593	298993	
19	1/8	866674	148873	
20	5	771974	598957	Změna parametru dead time při zesílení 10/8 [μs]
21	10	443573	340462	
22	20	211239	211419	
23	50	100718	85046	

Tabulka 2: Četnosti výbojů při měření s různým nastavením parametrů detektoru

Jak je vidět, při změně šířky pásma klesá i celkový počet zaznamenaných impulzů. To je způsobeno tím, že integrační člen, který je součástí detektoru, integruje podle rovnice:

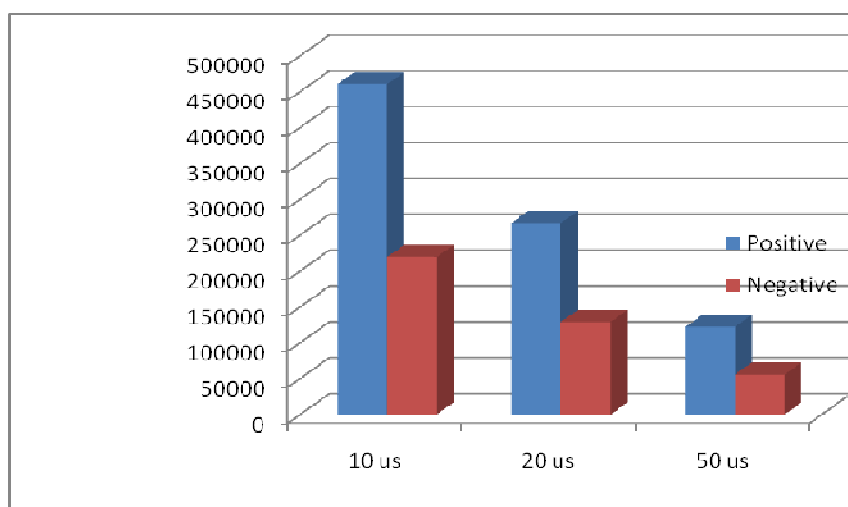
$$F(i(t)) = \int_{-\infty}^{+\infty} I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} e^{-j\omega t} dt$$

a ovlivňuje tedy horní a dolní integrační mez.

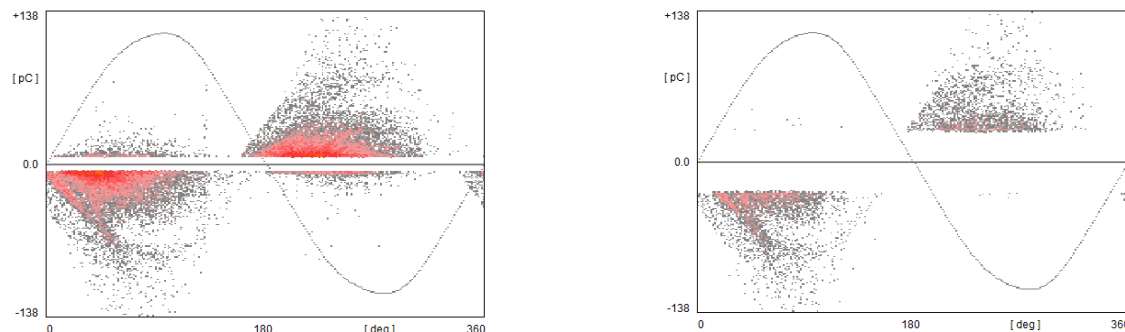


Graf 1: Četnost výbojů na přístrojovém transformátoru pro rozdílné šířky pásma

Vliv mrtvé doby odpovídá teoretickému předpokladu a tedy, zvětšujeme-li tento parametr, dochází k vynechání některých impulzů. Opět lze vidět v tabulce 2 a na grafu 2.



Graf 2: Změna četnosti impulzů při změně „mrtvé doby“



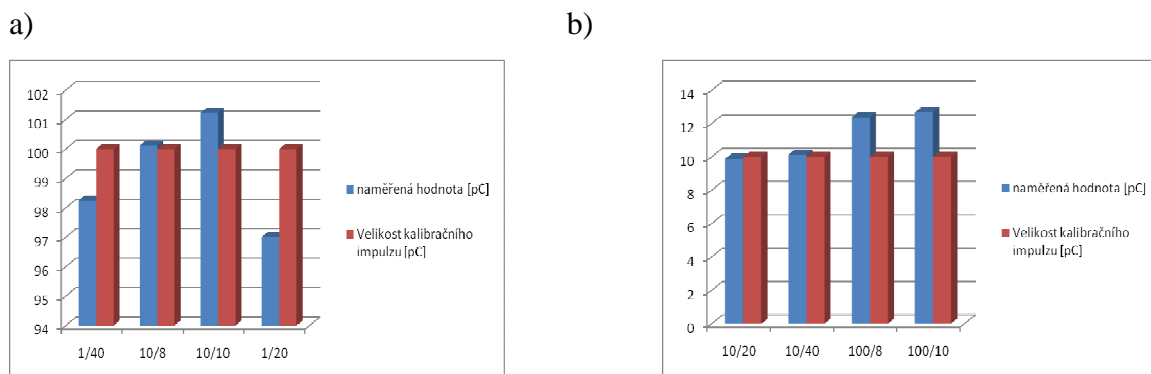
Obr. 21: Vliv LLD na výsledný záznam výbojové činnosti levý - LLD 5%, pravý - LLD 20%

Ze záznamů na obrázku 21 je patrné, jaký vliv má na měření parametr LLD, jeho změnou můžeme „oříznout“ spodní část záznamu o $\pm N\%$ z hodnoty na ose Y.

Zesílení předzesilovačů by nemělo mít na tvar výsledného záznamu žádný vliv, avšak při měření kalibračního impulsu se ukázalo, že nastavení zesílení má vliv na velikost zdánlivého náboje výbojů. Pokud bychom chtěli tento jev eliminovat, bylo by nutné při každé změně zesílení překalibrovat celé měření. Tím by se celý proces značně prodloužil a zkomplikoval, nicméně byla by zaručena přesnost. Změřené velikosti kalibračního impulsu a jejich skutečné hodnoty nastavené na kalibrátoru jsou vidět v tabulce 3 a grafech 3a a 3b.

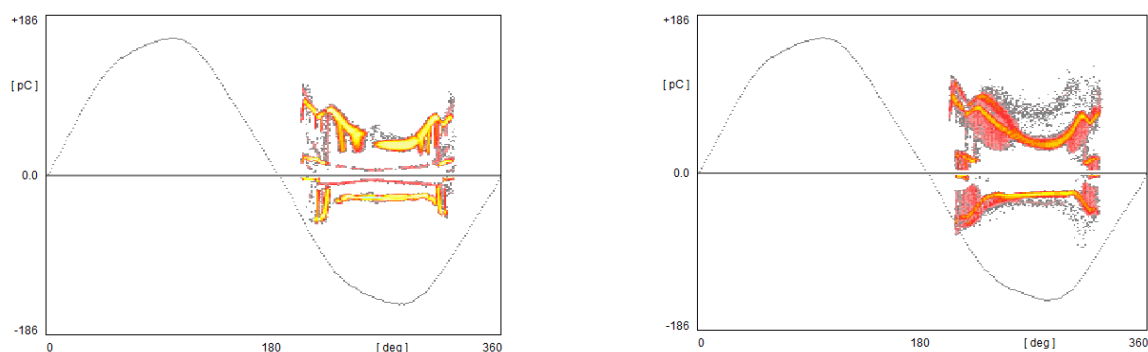
číslo měření	Kalibrační impuls			
	zesílení	náboj	zesílení	náboj
	100pC	naměřená hodnota [pC]	10pC	naměřená hodnota [pC]
1	1/40	98,25	10/20	9,89
2	10/8	100,12	10/40	10,13
3	10/10	101,23	100/8	12,37
4	1/20	97,01	100/10	12,66

Tabulka 3: Vliv zesílení na skutečnou hodnotu kalibračního impulsu



Graf 3: Změřené hodnoty pro nastavený kalibrační impuls a) 100pC, b) 10pC

Poslední řádky tabulky 2 (str. 29) ukazují opět změnu mrtvé doby, ale za použití jiného zesílení. Pro názornost si uvedeme odpovídající záznamy.



Obr. 22: Četnost výbojů při změně „mrtvé doby“ levý 5 μ s, pravý 50 μ s

Ze záznamů je opět patrné, že celková četnost klesá při zvětšení mrtvé doby. V příloze jsou uvedeny zbylé tabulky pro všechna provedená měření a všechny získané záznamy.

Porovnáme-li výsledky z měření korónového výboje a částečných výbojů na přístrojovém transformátoru, dojdeme k závěru, že nejvíce zaznamenaných výbojů bylo u koróny při použití režimu TW-NRT a FP-NRT. U transformátoru se celková četnost v závislosti na změně režimu A/D převodníku příliš nelišila. Lze z toho vyvodit, že korónový výboj má větší četnost impulzů. Proto celková četnost vyjde největší právě při režimu FP-NRT, respektive TW-NRT. Impulz, který přijde během zpracovávání předešlého, je jednoduše potlačen a po uplynutí nastavené mrtvé doby se zpracovává další. Naopak u režimu FP-RT impulz, který opět přijde během zpracovávání předešlého, prodlouží mrtvou dobu a je tak vynecháno více impulzů.

6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo definovat vliv nastavení jednotlivých parametrů detektoru částečných výbojů na výsledný záznam výbojové činnosti a tím i na přesnost jednotlivého měření. Potvrdily se teoretické předpoklady, že největší vliv mají parametry „dead time“ a LLD, při jejichž špatné volbě může dojít k nepřipustnému zkreslení celého měření. Právě těmto parametrům je tedy potřeba věnovat zvýšenou pozornost. Doporučil bych volit „mrtvou dobu“ $5\mu\text{s}$ a s parametrem LLD se pohybovat v rozmezí 2 – 5 % z maximální hodnoty. Co se týče šířky pásma, ve kterém detektor zpracovává signály, i tento parametr se ukázal jako důležitý a prokázalo se, že čím užší je šířka pásma, tím méně impulzů je zaznamenáno. Doporučuji proto nechávat tento parametr na co největší hodnotě, nestanoví-li požadavky zákazníka či norma jinak. Během měření bylo zjištěno, že na výsledek má vliv také změna zesílení. Při každé změně zesílení předzesilovačů dojde k odchylce od skutečné velikosti zdánlivého náboje. Tento jev by bylo možné odstranit překalibrováním detektoru při každé změně zesílení. Tím bychom sice odstranili nepřesnosti, ale celý průběh měření by se rapidně prodloužil. Při přehození zesílení bychom museli stáhnout napětí na 0V, vybití vazební kapacity, v beznapěťovém stavu připojit kalibrátor, měření kalibrovat, a po odstranění kalibrátoru a zemnicích tyčí znovu najet s napětím na požadovanou hodnotu a v měření pokračovat. Je tedy vhodné, pokud chceme maximální přesnost a minimální časové nároky na měření, zvolit si jednu velikost zesílení, na této velikost provést před začátkem kalibraci a poté už zesílení neměnit. Vliv režimu A/D převodníku není pro měření, kde je nižší četnost výbojů, až tak výrazný. Naopak při měření s vysokou četností výbojů se tento vliv zvětšuje a dochází k vynechávání některých impulzů díky prodloužení mrtvé doby (režim FP-RT).

Závěrem je třeba říci, že měření částečných výbojů je relativní měření, měříme pouze zdánlivý náboj. Nelze tedy dost dobře měření opakovat a získat stejné výsledky, nebo striktně trvat na určitém postupu. Je důležité si měření, potažmo parametry detektoru částečných výbojů, upravit tak, aby výsledek měl pro zákazníka co největší vypovídající hodnotu. Také je ale možné, že nárůst četnosti výbojů byl částečně způsoben ionizací vzduchu v prostoru modelu. Aby byla zachována co největší přesnost měření, bylo by dobré zajistit stálé proudění vzduchu (např. pomocí ventilátoru).

7 Použitá literatura

- [1] Kubeš P.: *Impulsní a silnoproudé výboje a jejich diagnostika* CVUT PRAHA 2004
- [2] Martínek P.: disertační práce na téma *Teoretická a experimentální analýza částičných výbojů v dielektriku elektrických strojů* ZČU 2005
- [3] Naglmüller J.: bakalářská práce na téma *Projevy Koróny a možnosti jejího omezení* ZČU 2010
- [4] Kuffel E.: *High voltage engineering* Oxford 2000
- [5] Tettex Instruments: *Technika merania čiastkových výbojov*
- [6] *Protokoly z měření pro předmět TVN na ZČU*

8 Příloha

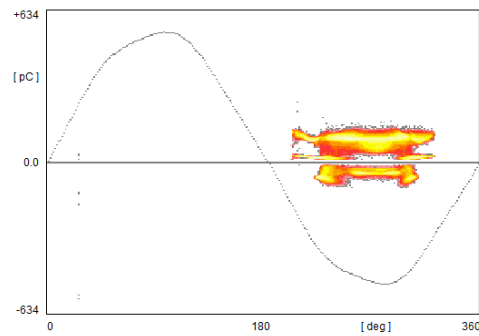
8.1 Záznamy výbojové činnosti

8.1.1 Korónový výboj

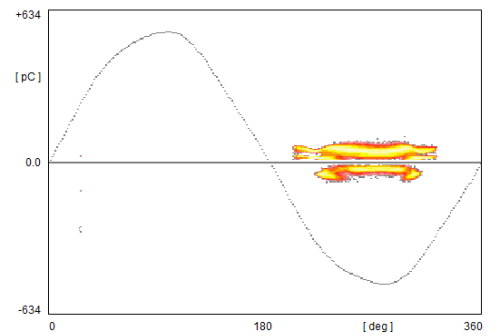
8.1.1.1 FP-NRT

Korónový výboj – zkušební napětí 8,6 kV, režim A/D převodníku FP-NRT

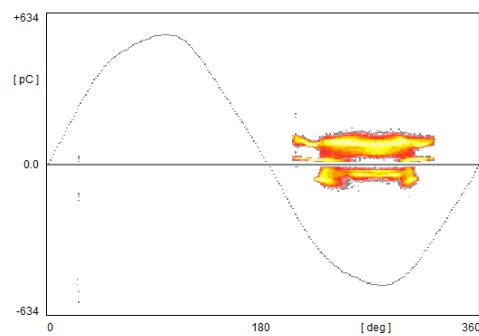
1) Frekvenční rozsah 40-
800kHz



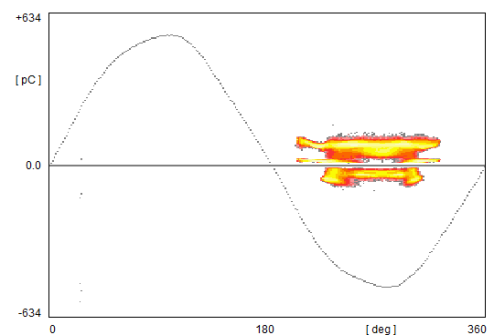
3) Frekvenční rozsah 40-
250kHz



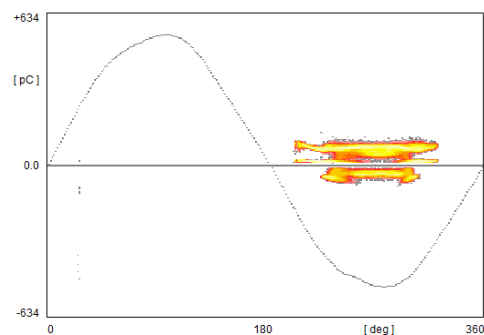
2) Frekvenční rozsah 40-
600kHz



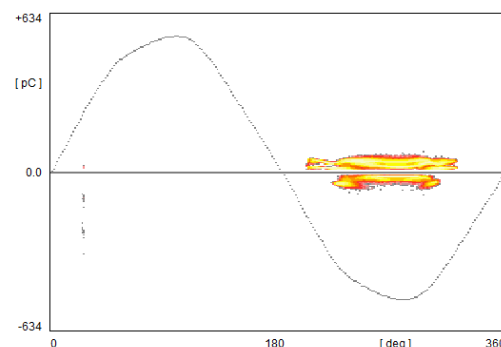
4) Frekvenční rozsah 80-
800kHz



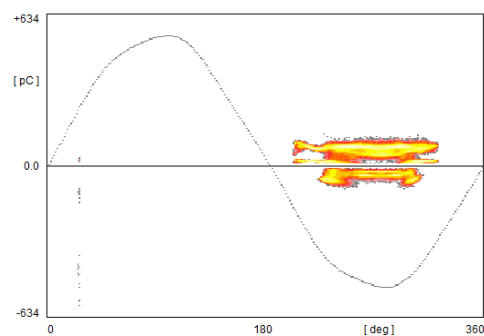
5) Frekvenční rozsah 100-800-
kHz



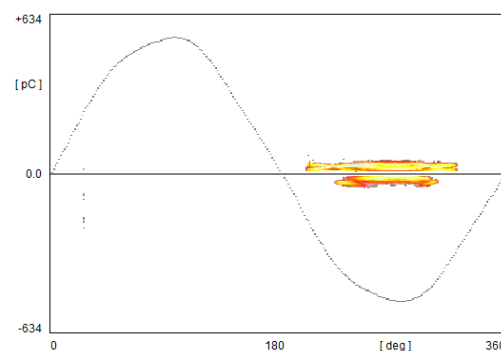
8) Frekvenční rozsah 80-
250kHz



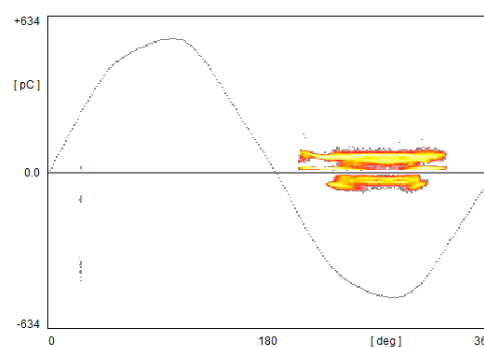
6) Frekvenční rozsah 80-
600kHz



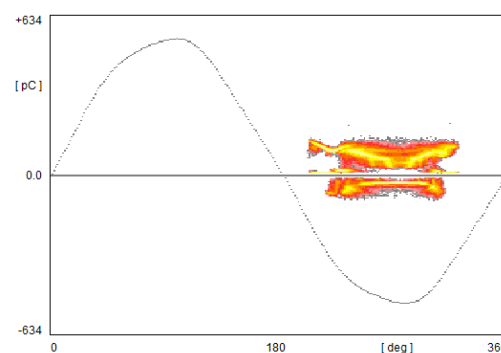
9) Frekvenční rozsah 100-
250kHz



7) Frekvenční rozsah 100-
600kHz

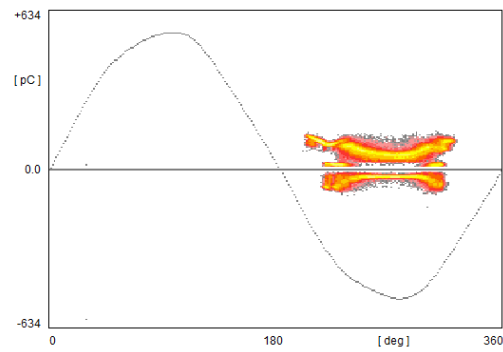


10) Mrtvá doba
10us



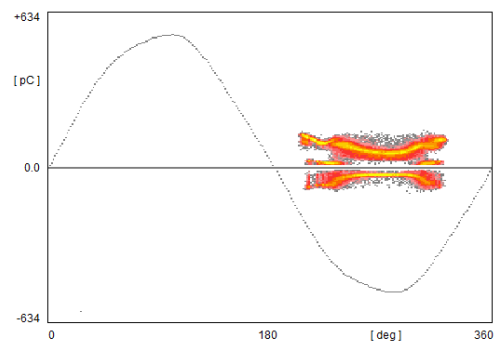
11) Mrtvá doba

20us



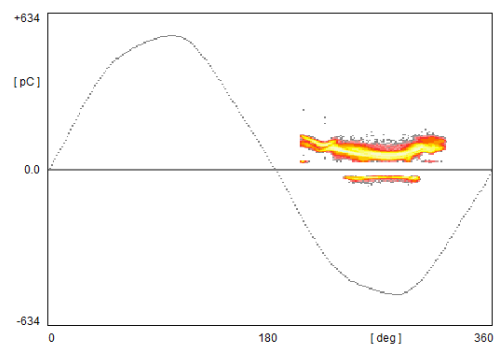
12) Mrtvá doba

50us



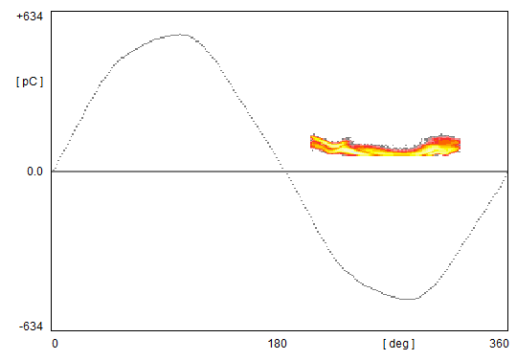
13) LLD

5%



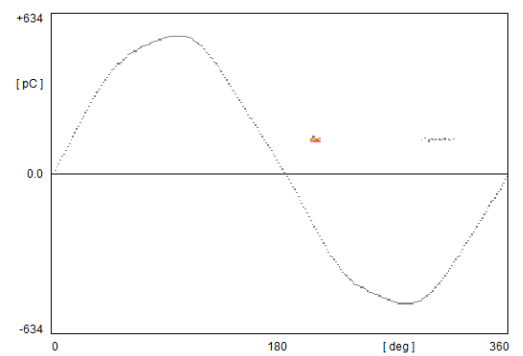
14) LLD

10%



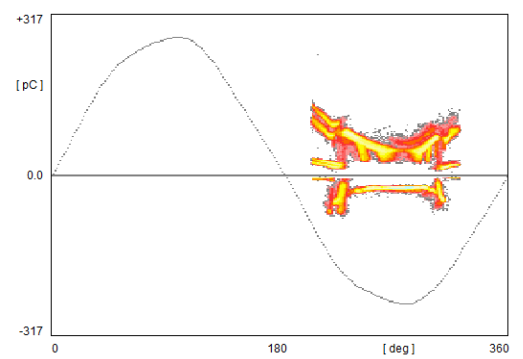
15) LLD

20%



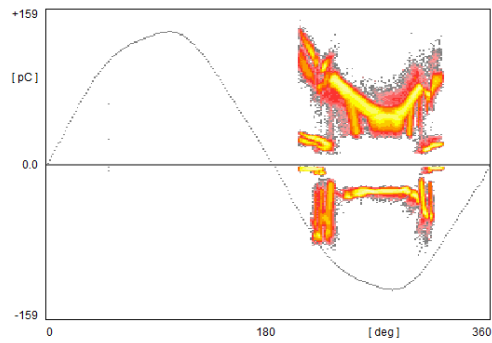
16) Zesílení 1 /

40



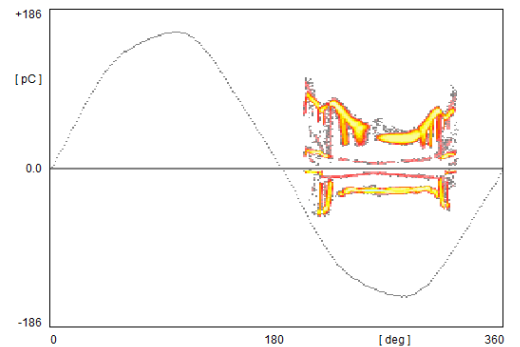
17) Zesílení 10 /

8



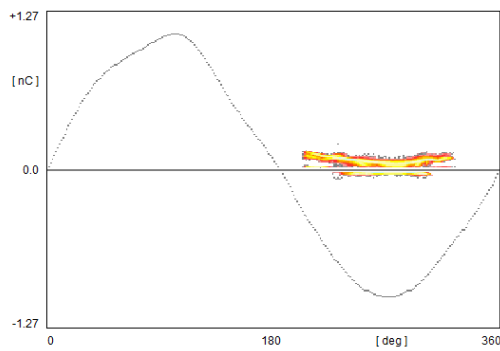
20) Mrtvá doba 5us při zesílení

10/8



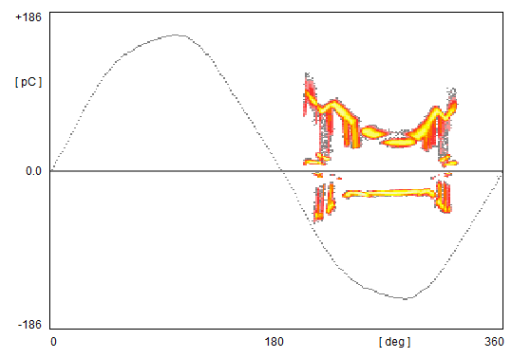
18) Zesílení 1 /

10



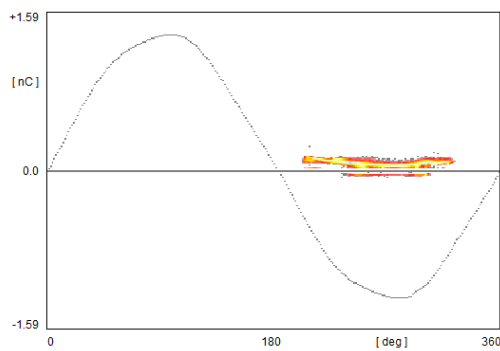
21) Mrtvá doba 10us při zesílení

10/8



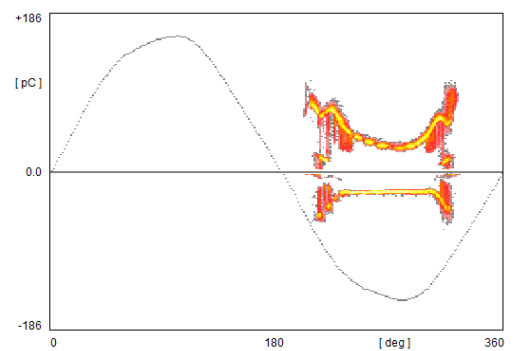
19) Zesílení 1 /

8



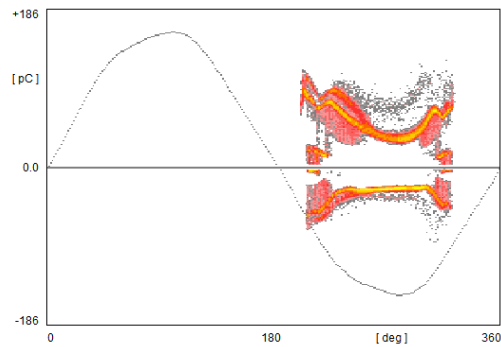
22) Mrtvá doba 20us při zesílení

10/8



23) Mrtvá doba 50us při zesílení

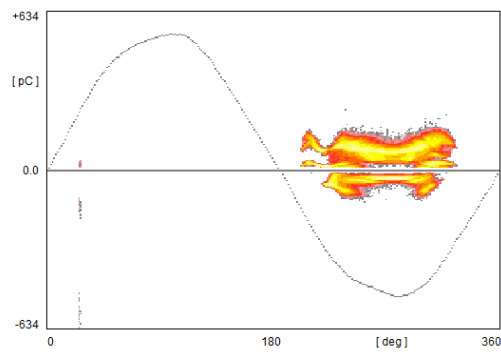
10/8



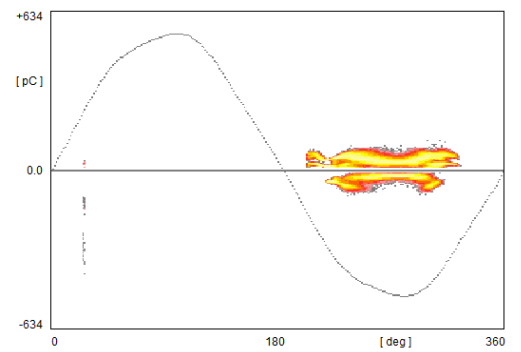
8.1.1.2 FP-RT

Korónový výboj – zkušební napětí 8,6 kV, režim A/D převodníku FP-RT

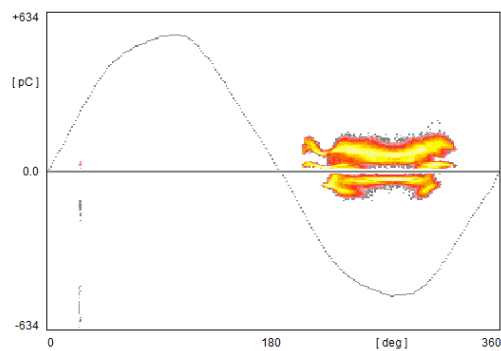
1) Frekvenční rozsah 40-800kHz



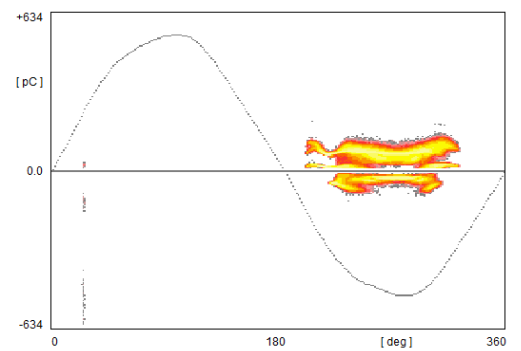
3) Frekvenční rozsah 40-250kHz



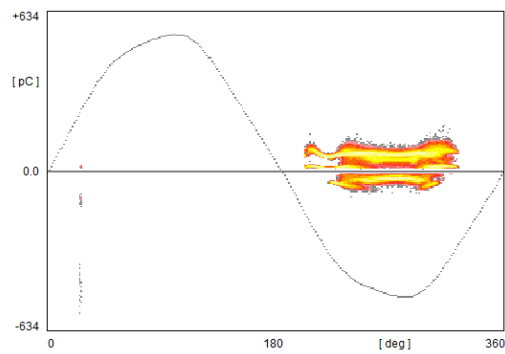
2) Frekvenční rozsah 40-600kHz



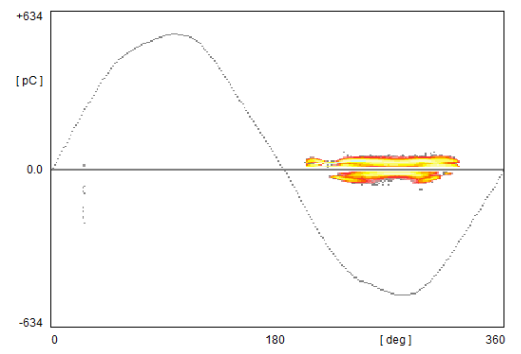
4) Frekvenční rozsah 80-800kHz



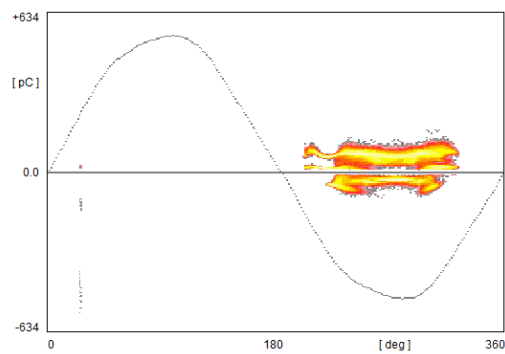
5) Frekvenční rozsah 100-800-kHz



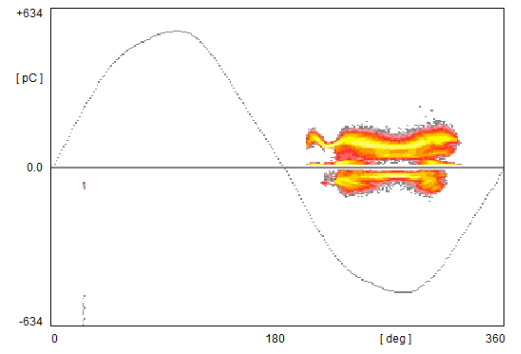
9) Frekvenční rozsah 100-250kHz



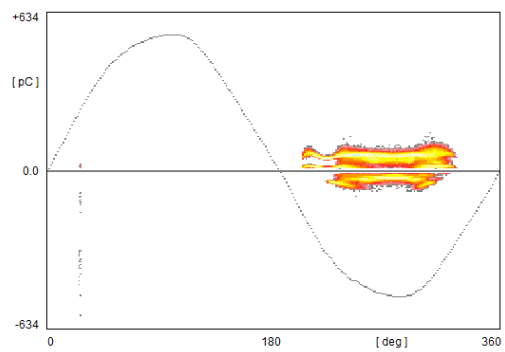
6) Frekvenční rozsah 80-600kHz



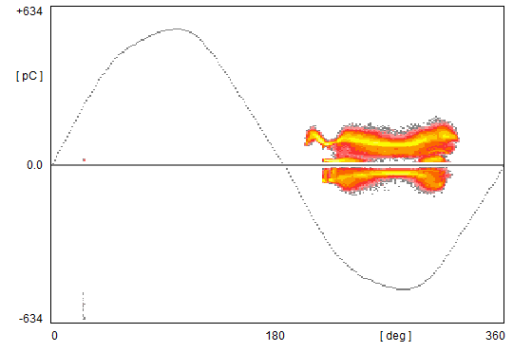
10) Mrtvá doba 10us



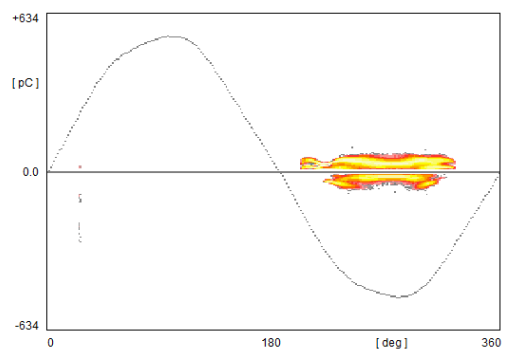
7) Frekvenční rozsah 100-600kHz



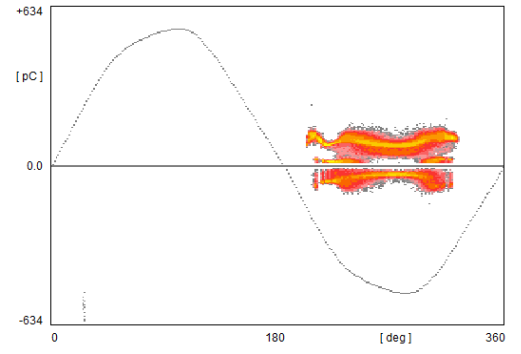
11) Mrtvá doba 20us



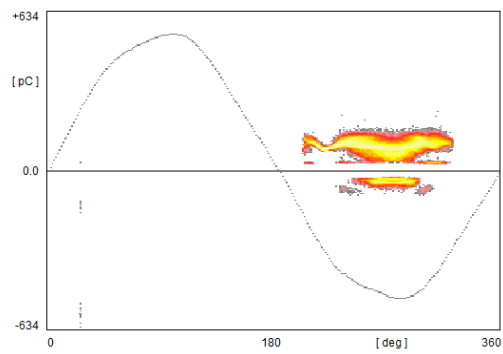
8) Frekvenční rozsah 80-250kHz



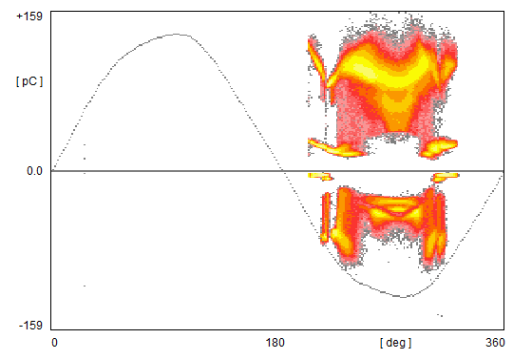
12) Mrtvá doba 50us



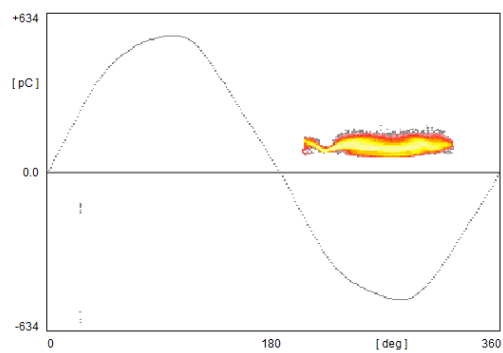
13) LLD 5%



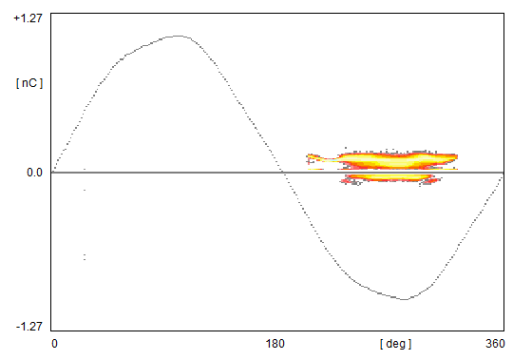
17) Zesílení 10 / 8



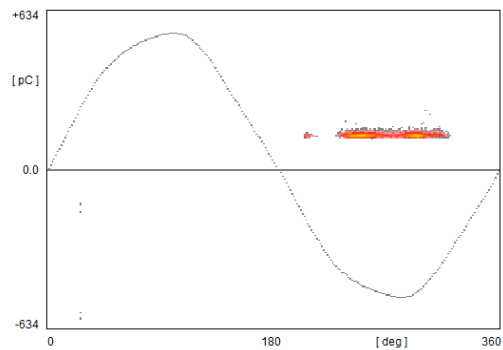
14) LLD 10%



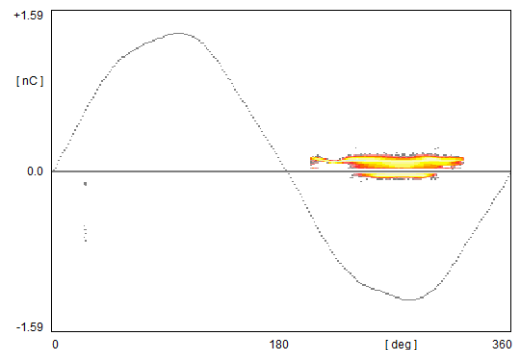
18) Zesílení 1 / 10



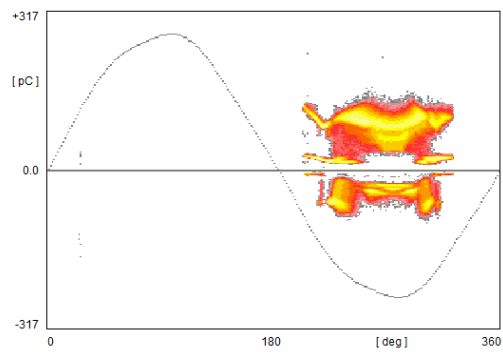
15) LLD 20%



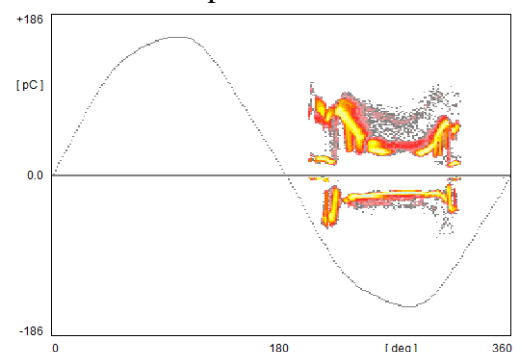
19) Zesílení 1 / 8



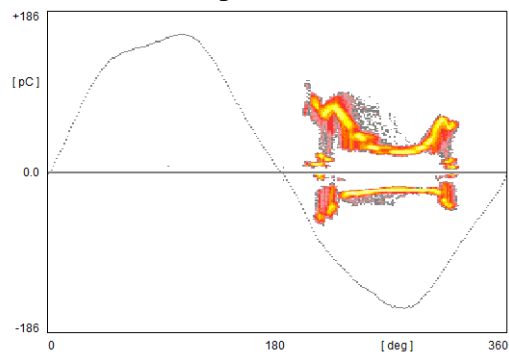
16) Zesílení 1 / 40



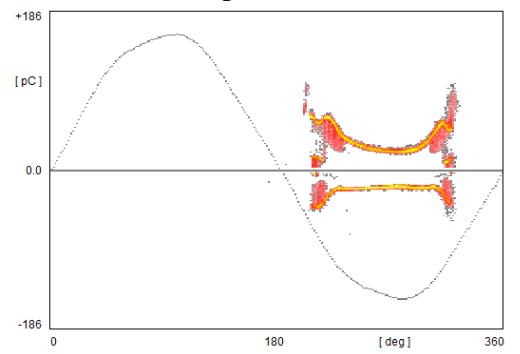
20) Mrtvá doba 5us při zesílení 10/8



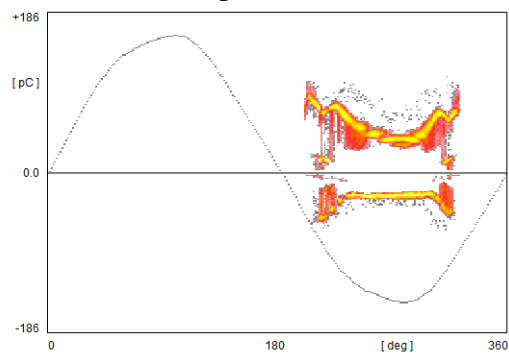
21) Mrtvá doba 10us při zesílení 10/8



23) Mrtvá doba 50us při zesílení 10/8



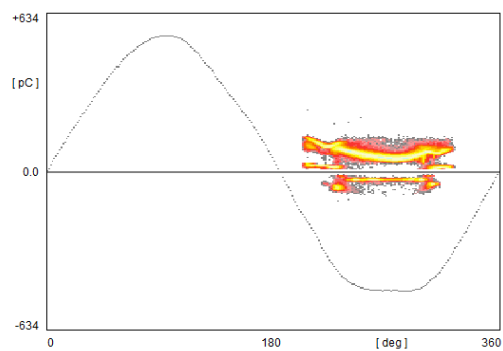
22) Mrtvá doba 20us při zesílení 10/8



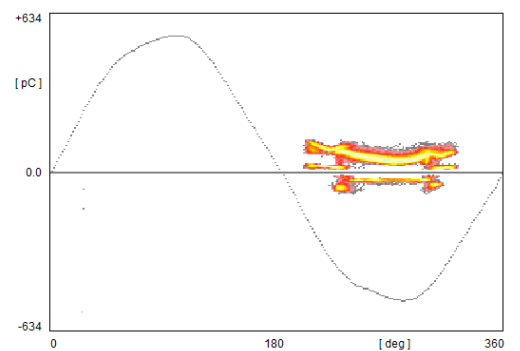
8.1.1.3 TW-NRT

Korónový výboj – zkušební napětí 8,6 kV, režim A/D převodníku TW-NRT

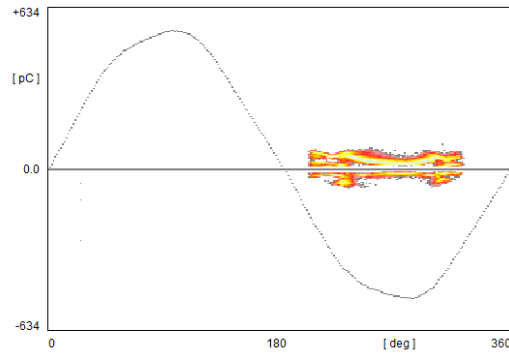
1) Frekvenční rozsah 40-800kHz



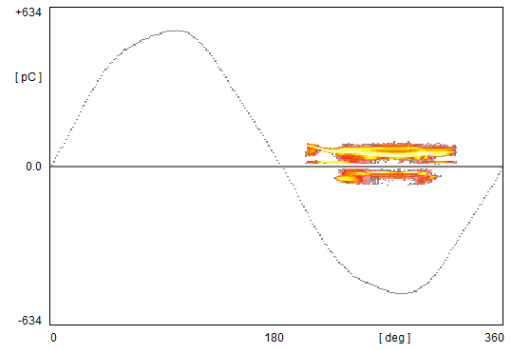
2) Frekvenční rozsah 40-600kHz



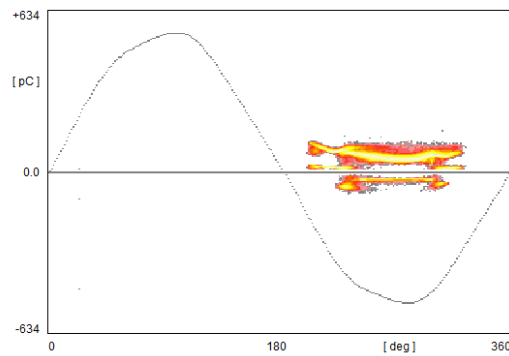
3) Frekvenční rozsah 40-250kHz



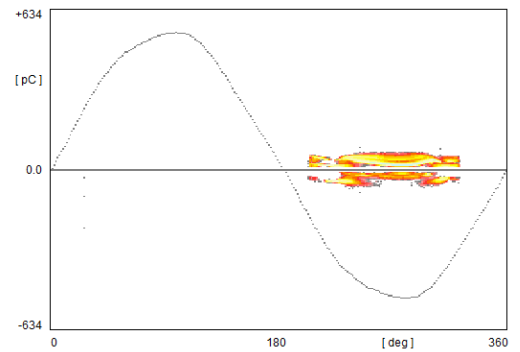
7) Frekvenční rozsah 100-600kHz



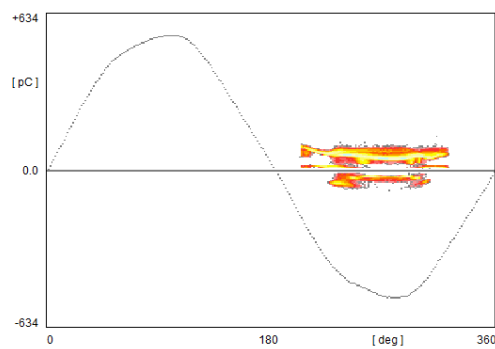
4) Frekvenční rozsah 80-800kHz



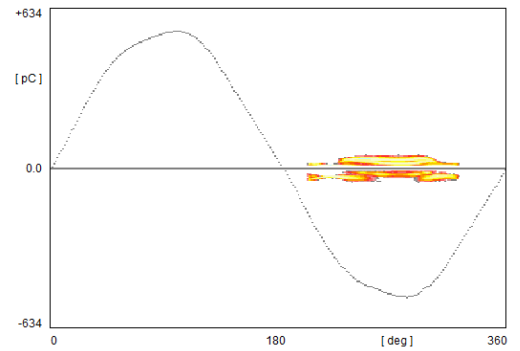
8) Frekvenční rozsah 80-250kHz



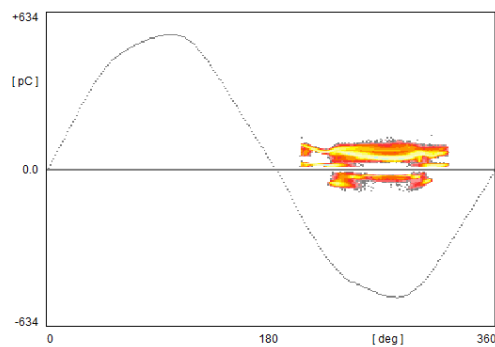
5) Frekvenční rozsah 100-800-kHz



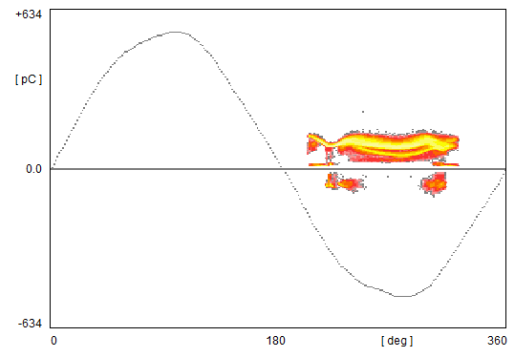
9) Frekvenční rozsah 100-250kHz



6) Frekvenční rozsah 80-600kHz

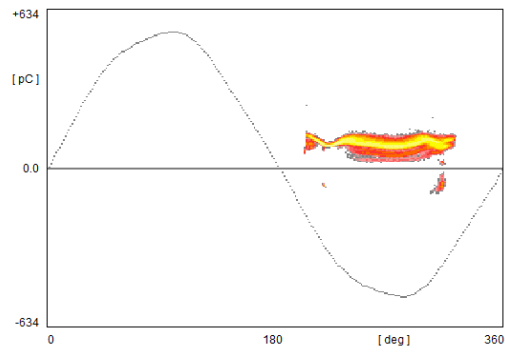


10) Mrtvá doba 10us



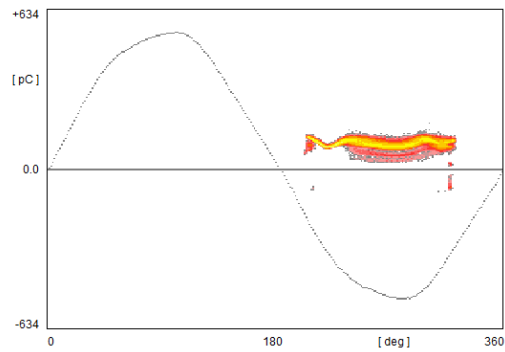
11) Mrtvá doba

20us



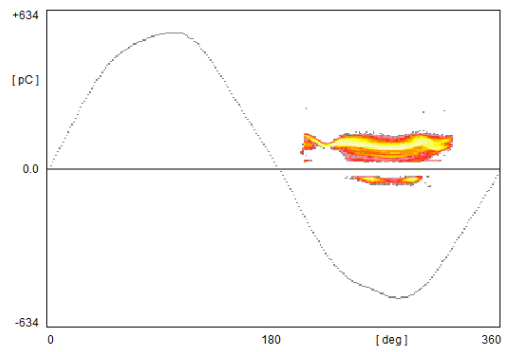
12) Mrtvá doba

50us



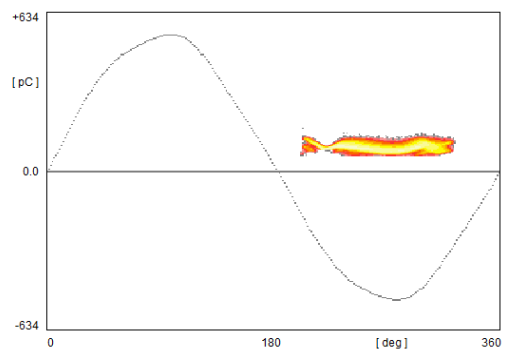
13) LLD

5%



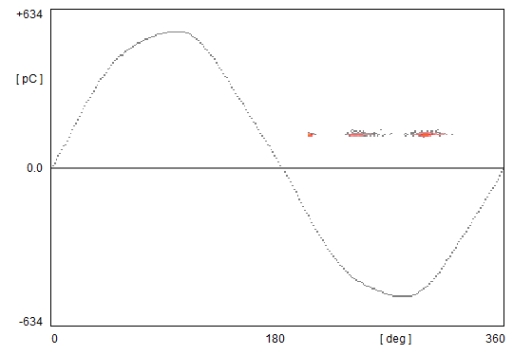
14) LLD

10%



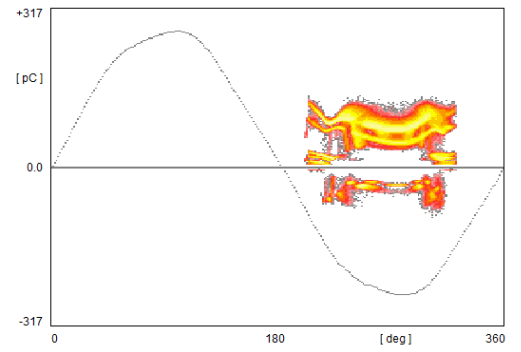
15) LLD

20%



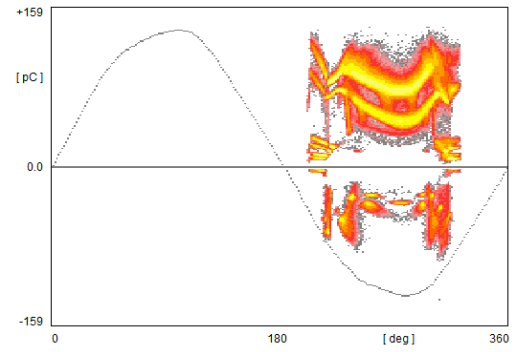
16) Zesílení 1 /

40



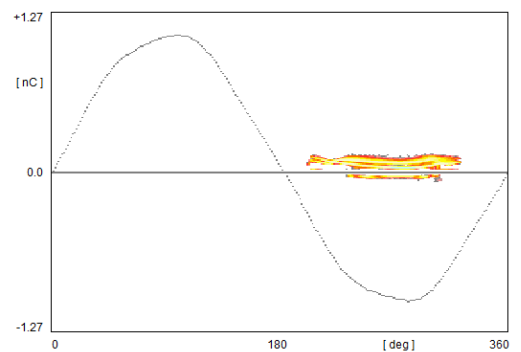
17) Zesílení 10 /

8



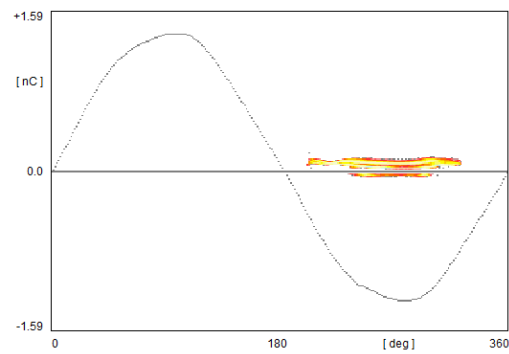
18) Zesílení 1 /

10



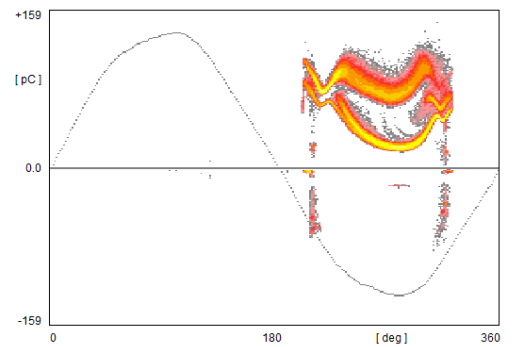
19) zesílení 1 /

8



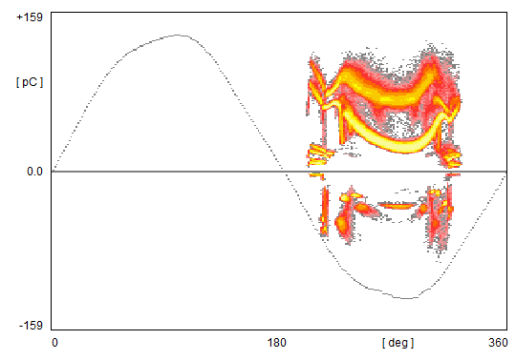
22) Mrtvá doba 20us při zesílení

10/8



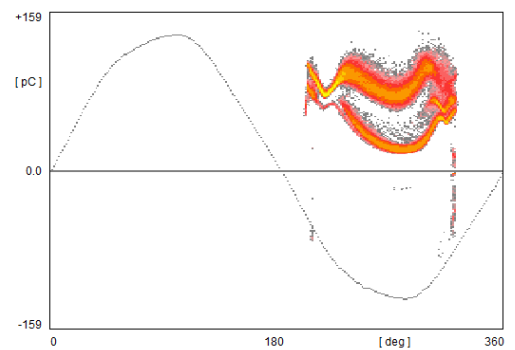
20) Mrtvá doba 5us při zesílení

10/8



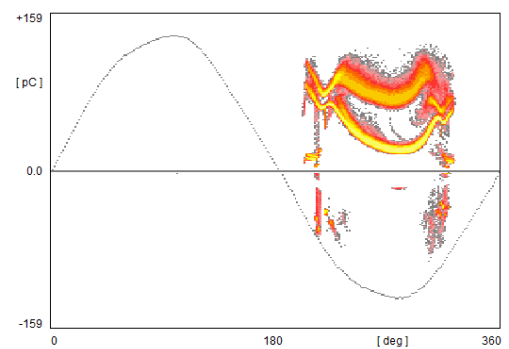
23) Mrtvá doba 50us při zesílení

10/8



21) Mrtvá doba 10us při zesílení

10/8

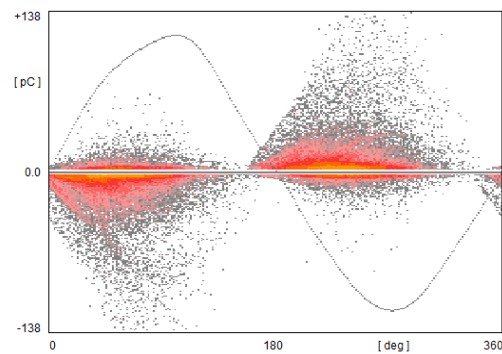


8.1.2 Částečné výboje na přístrojovém transformátoru

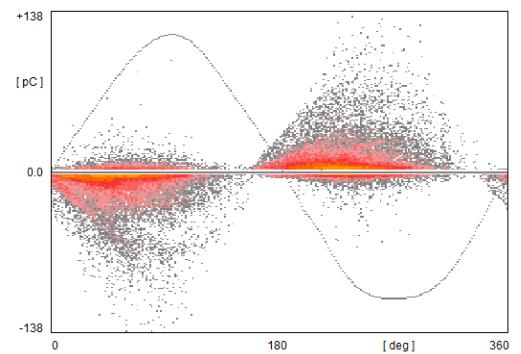
8.1.2.1 FP-NRT

Částečné výboje na přístrojovém transformátoru – zkušební napětí 26,5 kV, režim A/D
převodníku FP-NRT

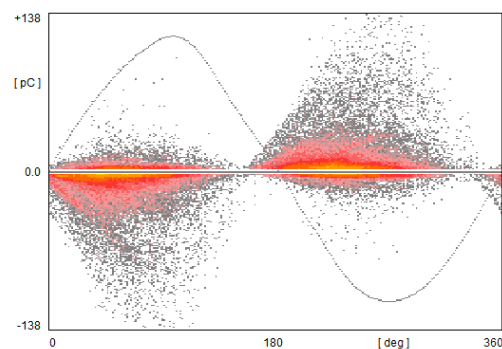
1) Frekvenční rozsah 40-
800kHz



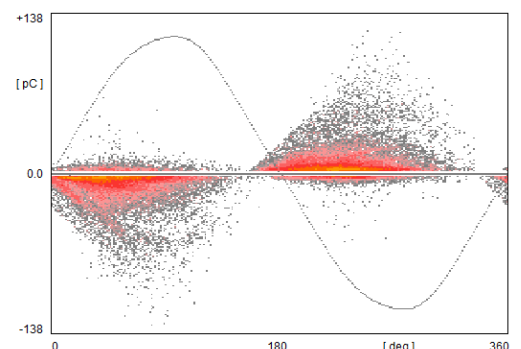
4) Frekvenční rozsah 80-
800kHz



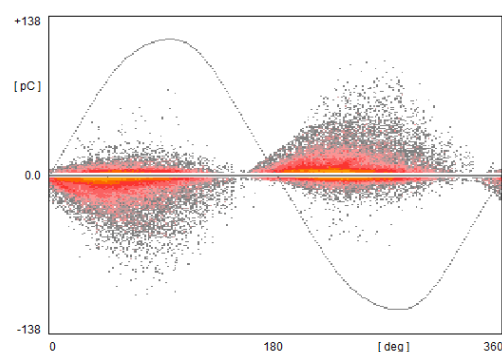
2) Frekvenční rozsah 40-
600kHz



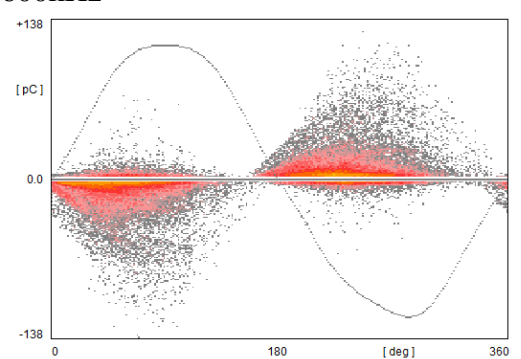
5) Frekvenční rozsah 100-800-
kHz



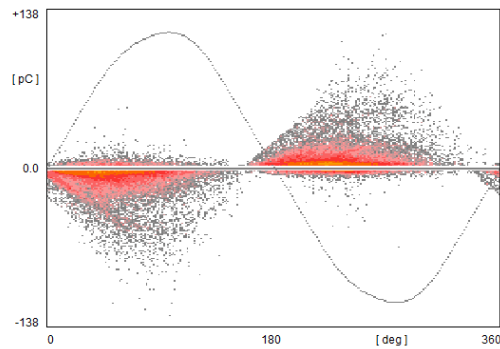
3) Frekvenční rozsah 40-
250kHz



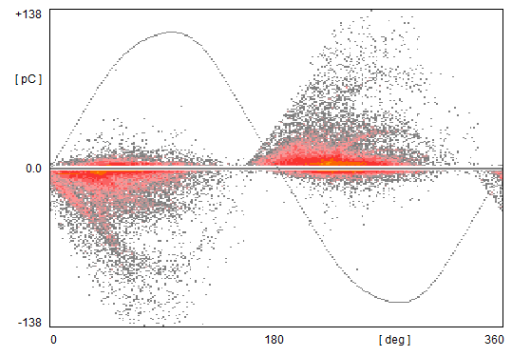
6) Frekvenční rozsah 80-
600kHz



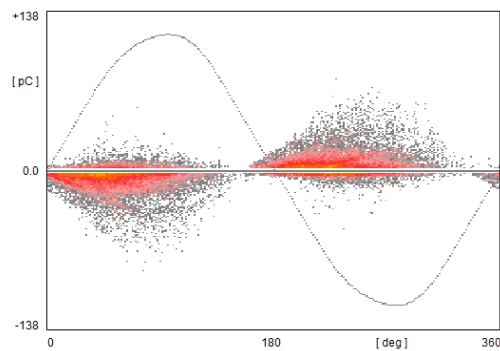
7) Frekvenční rozsah 100-
600kHz



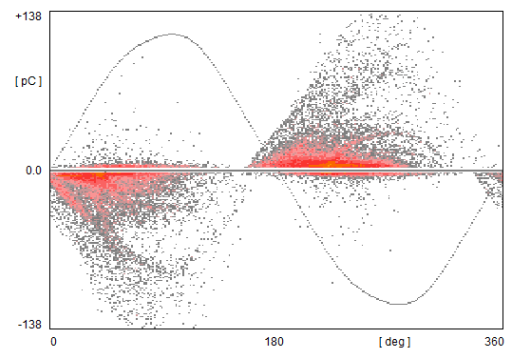
11) Mrtvá doba
20us



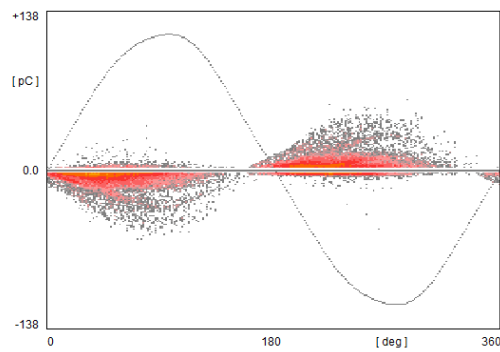
8) Frekvenční rozsah 80-
250kHz



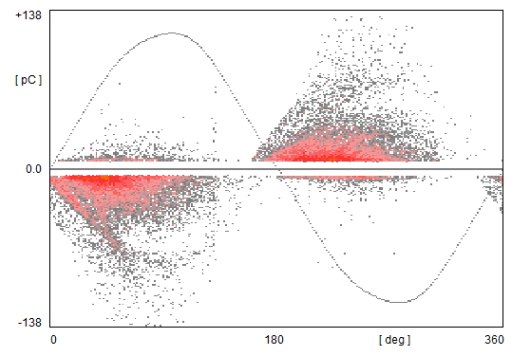
12) Mrtvá doba
50us



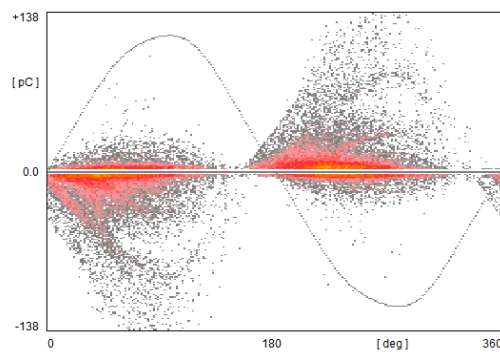
9) Frekvenční rozsah 100-
250kHz



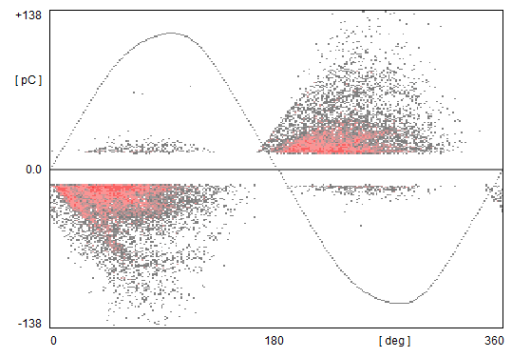
13) LLD
5%



10) Mrtvá doba
10us

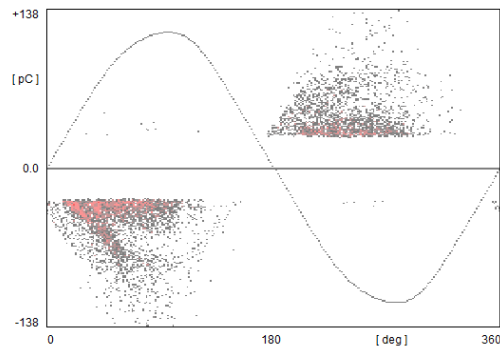


14) LLD
10%



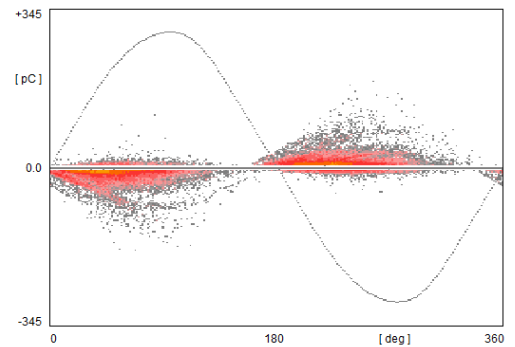
15) LLD

20%



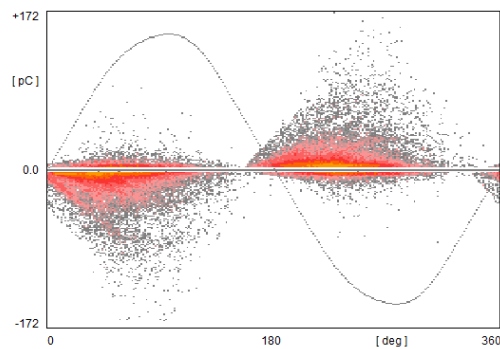
17) Zesílení 1 /

40



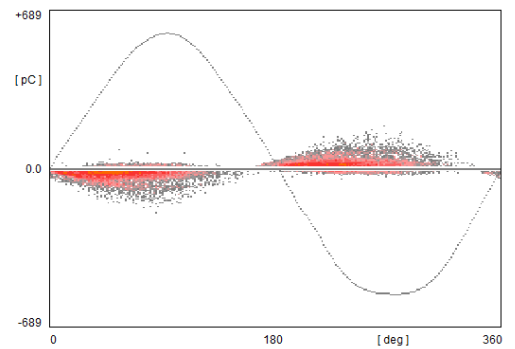
16) Zesílení 10 /

8



18) Zesílení 1 /

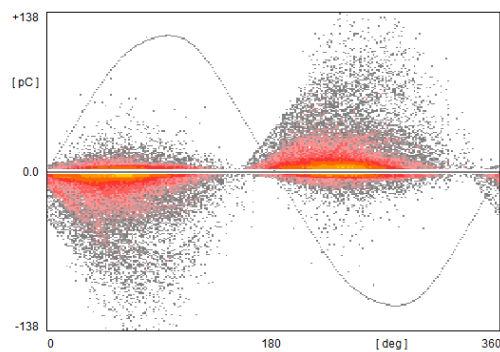
20



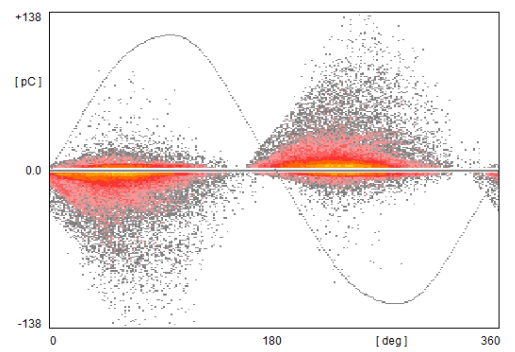
8.1.2.2 FP-RT

Částečné výboje na přístrojovém transformátoru – zkušební napětí 26,5 kV, režim A/D
převodníku FP-RT

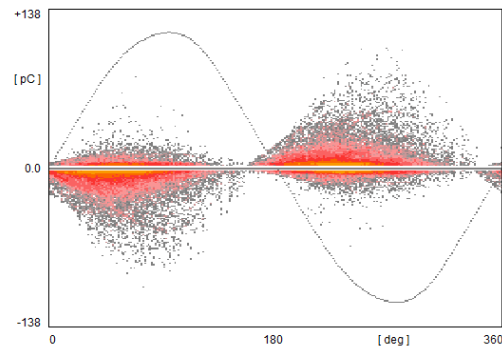
1) Frekvenční rozsah 40-
800kHz



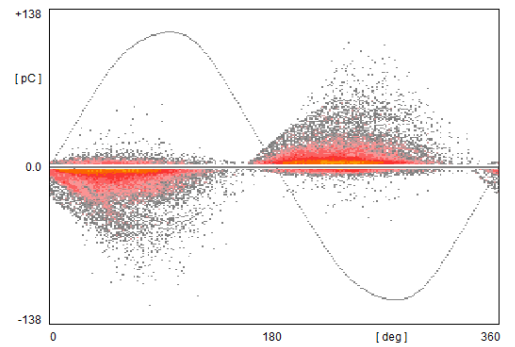
2) Frekvenční rozsah 40-
600kHz



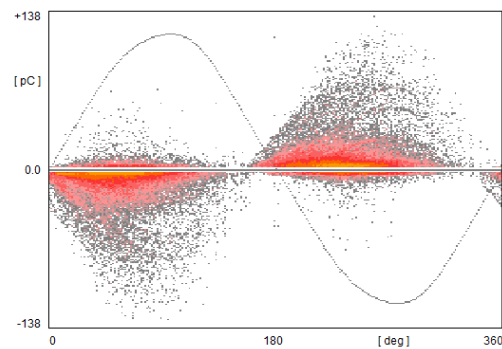
3) Frekvenční rozsah 40-250kHz



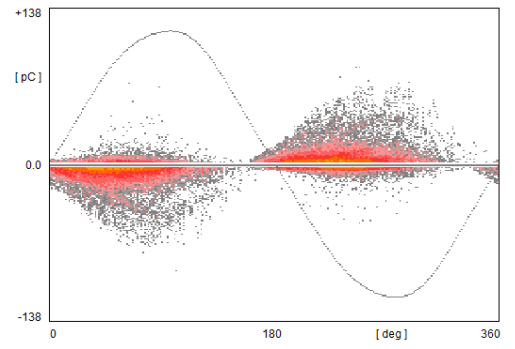
7) Frekvenční rozsah 100-600kHz



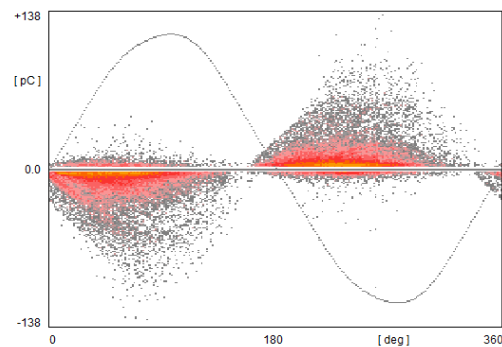
4) Frekvenční rozsah 80-800kHz



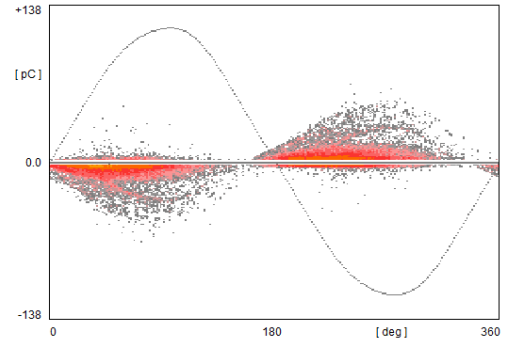
8) Frekvenční rozsah 80-250kHz



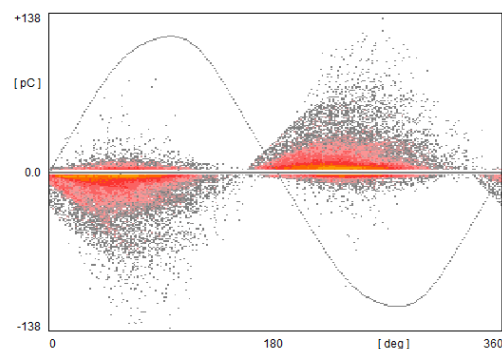
5) Frekvenční rozsah 100-800-kHz



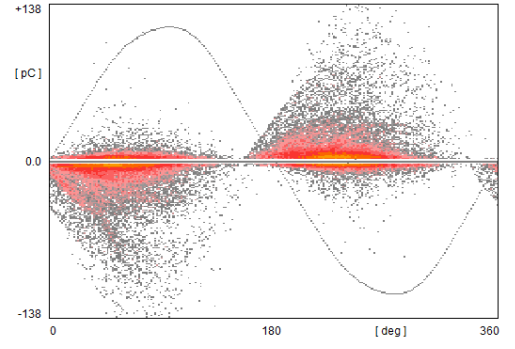
9) Frekvenční rozsah 100-250kHz



6) Frekvenční rozsah 80-600kHz

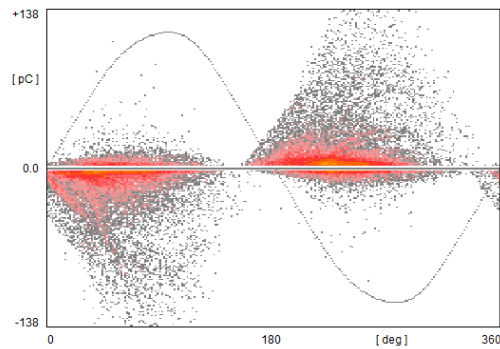


10) Mrtvá doba 10us



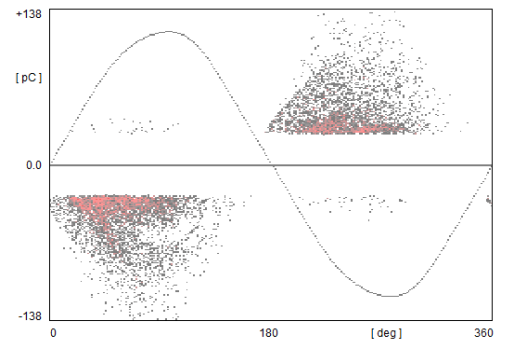
11) Mrtvá doba

20us



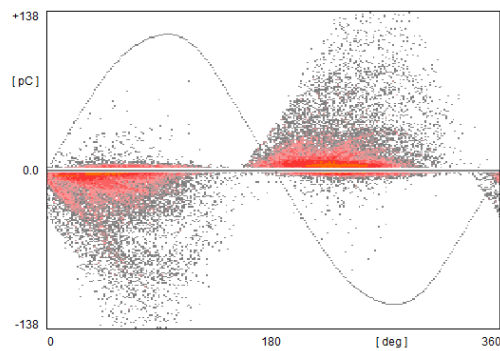
15) LLD

20%



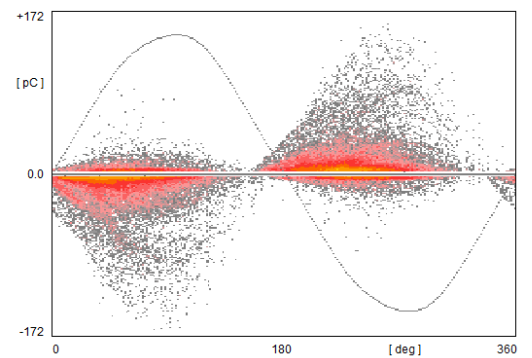
12) Mrtvá doba

50us



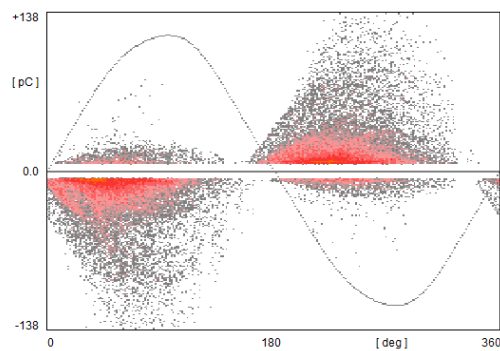
16) Zesílení 10 /

8



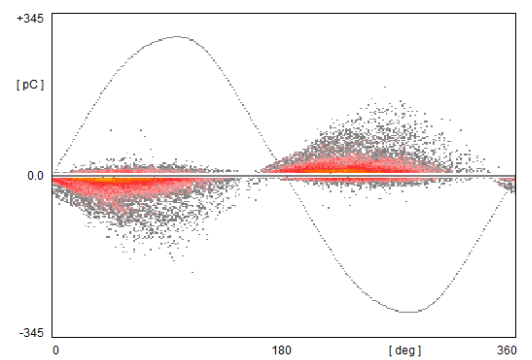
13) LLD

5%



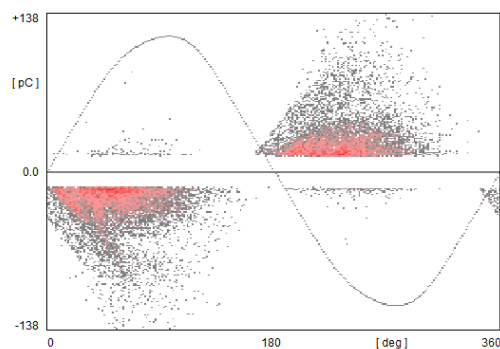
17) Zesílení 1 /

40



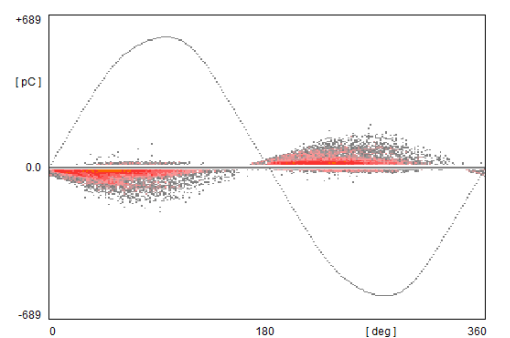
14) LLD

10%



18) Zesílení 1 /

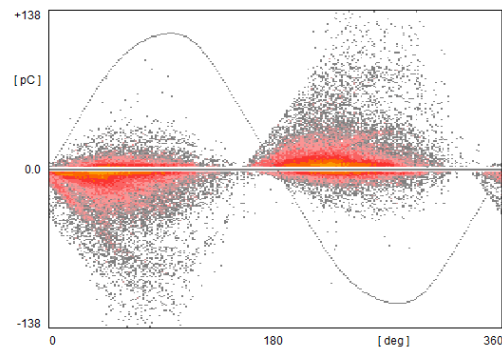
20



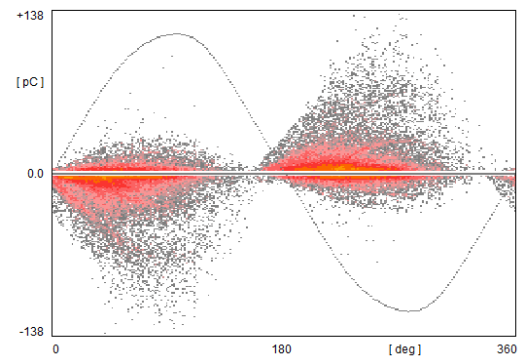
8.1.2.3 TW-NRT

Částečné výboje na přístrojovém transformátoru – zkušební napětí 26,5 kV, režim A/D
převodníku TW-NRT

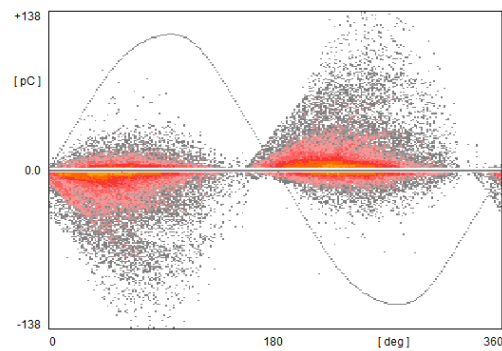
1) Frekvenční rozsah 40-
800kHz



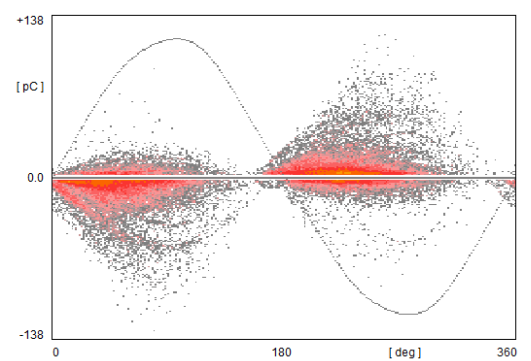
4) Frekvenční rozsah 80-
800kHz



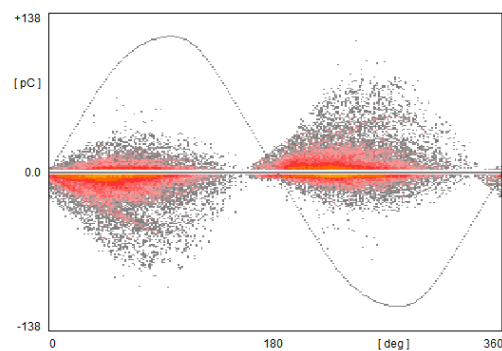
2) Frekvenční rozsah 40-
600kHz



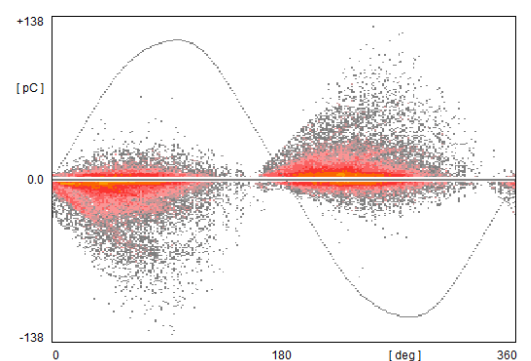
5) Frekvenční rozsah 100-800-
kHz



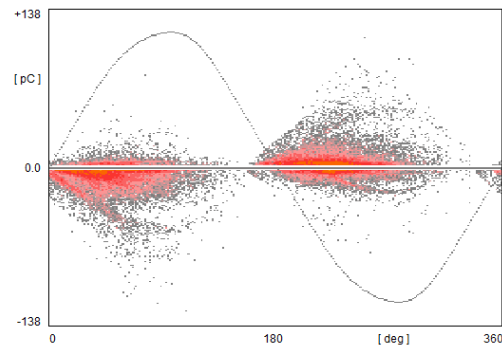
3) Frekvenční rozsah 40-
250kHz



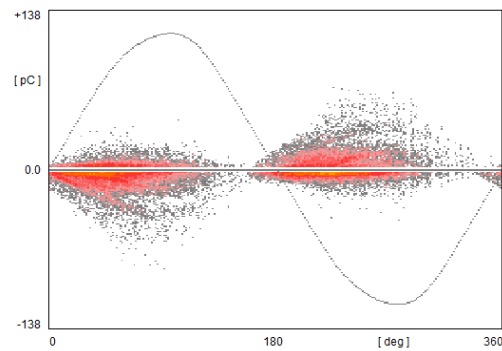
6) Frekvenční rozsah 80-
600kHz



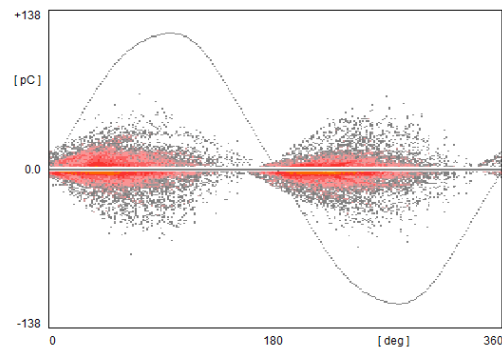
7) Frekvenční rozsah 100-
600kHz



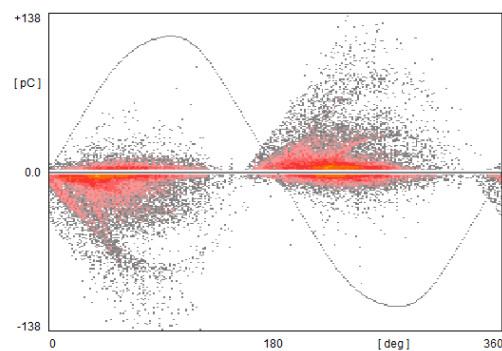
8) Frekvenční rozsah 80-
250kHz



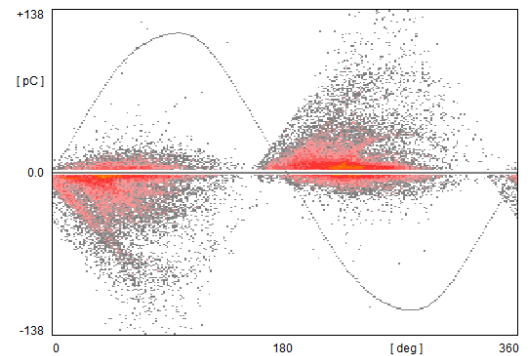
9) Frekvenční rozsah 100-
250kHz



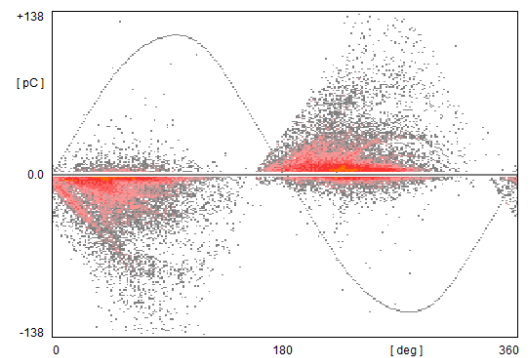
10) Mrtvá doba
10us



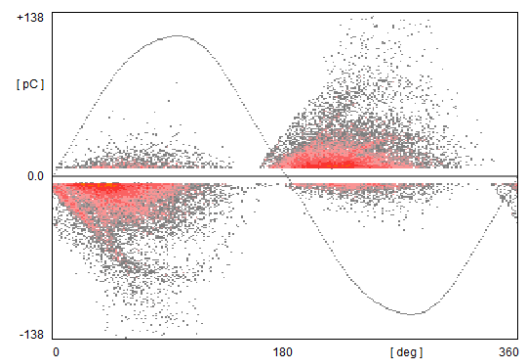
11) Mrtvá doba
20us



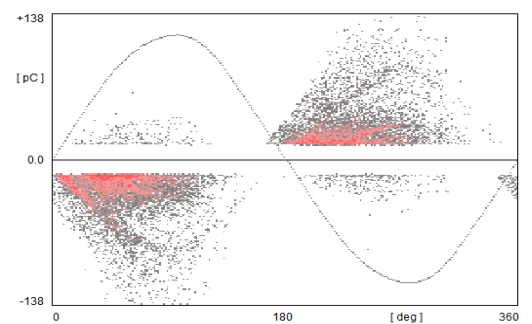
12) Mrtvá doba
50us



13) LLD
5%

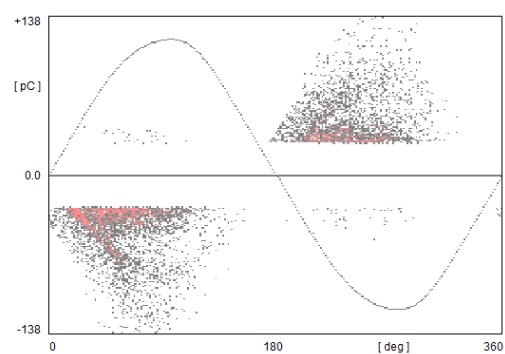


14) LLD
10%



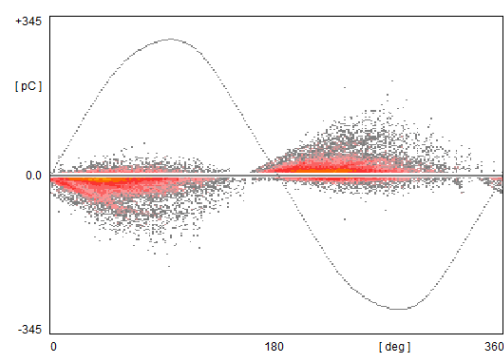
15) LLD

20%



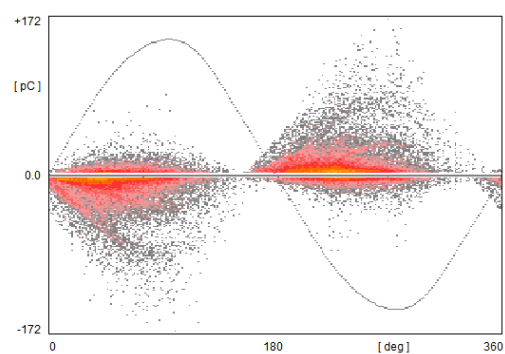
17) Zesílení 1 /

40



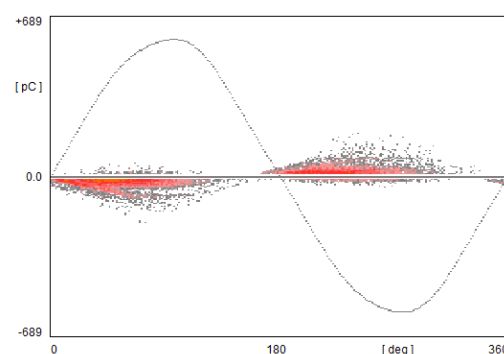
16) Zesílení 10 /

8



18) Zesílení 1 /

20



8.2 Tabulky četností pro jednotlivá měření

8.2.1 Korónový výboj

8.2.1.1 FP-NRT

Korónový výboj FP-NRT				
		positive	negative	
1	40-800	940934	233696	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	944091	229722	
3	40 - 250	924084	239242	
4	80 - 800	947131	227606	
5	100 - 800	979594	205009	
6	80 - 600	941742	232815	
7	100 - 600	967328	217057	
8	80 - 250	899630	275913	
9	100 - 250	914242	260359	Změna parametru dead time [us]
10	10	460433	219507	
11	20	266936	129144	
12	50	122091	55483	Změna LLD [%]
13	5	908351	47165	
14	10	530594	0	
15	20	1219	0	Změna zesílení
16	1/40	710988	529503	
17	10/8	818415	451285	
18	1/10	799593	298993	
19	1/8	866674	148873	Změna parametru dead time při zesílení 10/8 [us]
20	5	771974	598957	
21	10	443573	340462	
22	20	211239	211419	
23	50	100718	85046	

8.2.1.2 FP-RT

Korónový výboj FP-RT				
		positive	negative	
1	40 - 800	830299	354457	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	839636	339549	
3	40 - 250	821987	341865	
4	80 - 800	866235	312381	
5	100 - 800	920124	263474	
6	80 - 600	891809	289059	
7	100 - 600	924008	257892	
8	80 - 250	876232	278290	
9	100 - 250	862534	256803	Změna parametru dead time [us]
10	10	505056	184049	
11	20	277230	122008	
12	50	126460	53459	Změna LLD [%]
13	5	851931	92401	
14	10	872561	12	
15	20	18127	0	Změna zesílení
16	1/40	927020	284424	
17	10/8	884423	367076	
18	1/10	880755	141067	
19	1/8	818001	203545	Změna parametru dead time při zesílení 10/8 [us]
20	5	600799	735028	
21	10	398753	368413	
22	20	247626	177126	
23	50	83807	97989	

8.2.1.3 TW-NRT

Korónový výboj TW-NRT				
		positive	negative	
1	40 - 800	1116328	87469	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	1133918	75586	
3	40 - 250	1025702	188024	
4	80 - 800	1101200	107584	
5	100 - 800	955351	132296	
6	80 - 600	1118732	102940	
7	100 - 600	979302	127932	
8	80 - 250	1015822	187835	
9	100 - 250	841714	302836	
10	10	662930	17835	Změna parametru dead time [us]
11	20	390862	1569	
12	50	176841	329	
13	5	949037	49788	Změna LLD [%]
14	10	899378	0	
15	20	1161	0	
16	1/40	1075010	115100	Změna zesílení
17	10/8	1066461	120099	
18	1/10	1074792	52535	
19	1/8	999953	28785	
20	5	1193250	91776	Změna parametru dead time při zesílení 10/8 [us]
21	10	741060	14845	
22	20	414545	5770	
23	50	183780	479	

8.2.2 Částečné výboje na přístrojovém transformátoru

8.2.2.1 FP-NRT

Částečné výboje na přístrojovém transformátoru FP-NRT				
		positive	negative	
1	40 - 800	46270	53156	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	48571	57533	
3	40 - 250	36242	50330	
4	80 - 800	35445	41719	
5	100 - 800	31028	35005	
6	80 - 600	38056	46036	
7	100 - 600	28459	33520	
8	80 - 250	22388	34544	
9	100 - 250	17155	28019	
10	10	32649	37726	Změna parametru dead time [us]
11	20	26240	26897	
12	50	21520	20960	
13	5	16496	19828	Změna LLD [%]
14	10	8537	11472	
15	20	2563	4493	
16	10/8	37618	42726	Změna zesílení
17	1/40	17378	23090	
18	1/20	8925	13180	

8.2.2.2 FP-RT

Částečné výboje na přístrojovém transformátoru FP-RT				
		positive	negative	
1	40 - 800	55136	64918	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	54782	64266	
3	40 - 250	40645	55683	
4	80 - 800	43285	50129	
5	100 - 800	36420	40186	
6	80 - 600	35339	41962	
7	100 - 600	30517	34637	
8	80 - 250	28709	43100	
9	100 - 250	20886	32701	
10	10	36630	42842	Změna parametru dead time [us]
11	20	31284	34889	
12	50	24773	25295	
13	5	23658	27561	Změna LLD [%]
14	10	8977	11648	
15	20	3905	5548	
16	10/8	42865	48957	Změna zesílení
17	1/40	20453	27060	
18	1/20	9132	13532	

8.2.2.3 TW-NRT

Částečné výboje na přístrojovém transformátoru TW-NRT				
		positive	negative	
1	40 - 800	41132	48438	Změna šířky pásma [kHz]
2	40 - 600	43633	53972	
3	40 - 250	29210	51907	
4	80 - 800	37398	45391	
5	100 - 800	27677	35205	
6	80 - 600	34334	43746	
7	100 - 600	19501	29206	
8	80 - 250	16667	37669	
9	100 - 250	16015	28162	
10	10	26077	33809	Změna parametru dead time [us]
11	20	23681	27196	
12	50	19791	23326	
13	5	16697	20659	Změna LLD [%]
14	10	7835	10975	
15	20	2967	4762	
16	10/8	36094	42188	Změna zesílení
17	1/40	18353	25074	
18	1/20	6975	11618	

8.3 Fotografie z průběhu měření

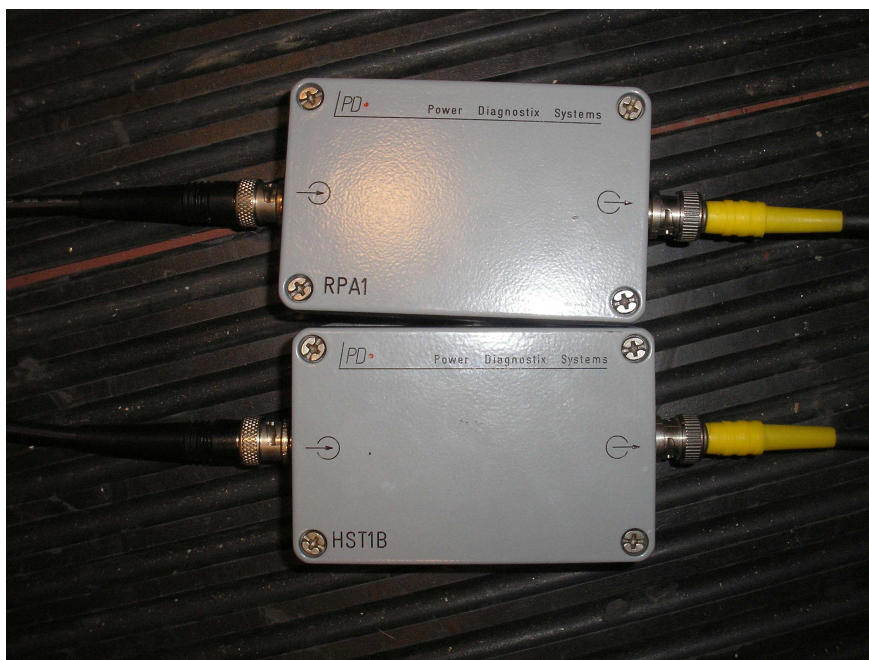
1) Zdroj napětí s připojenou vazební impedancí



2) Měřicí detektor s připojeným průmyslovým PC



3) Vstupní předzesilovače



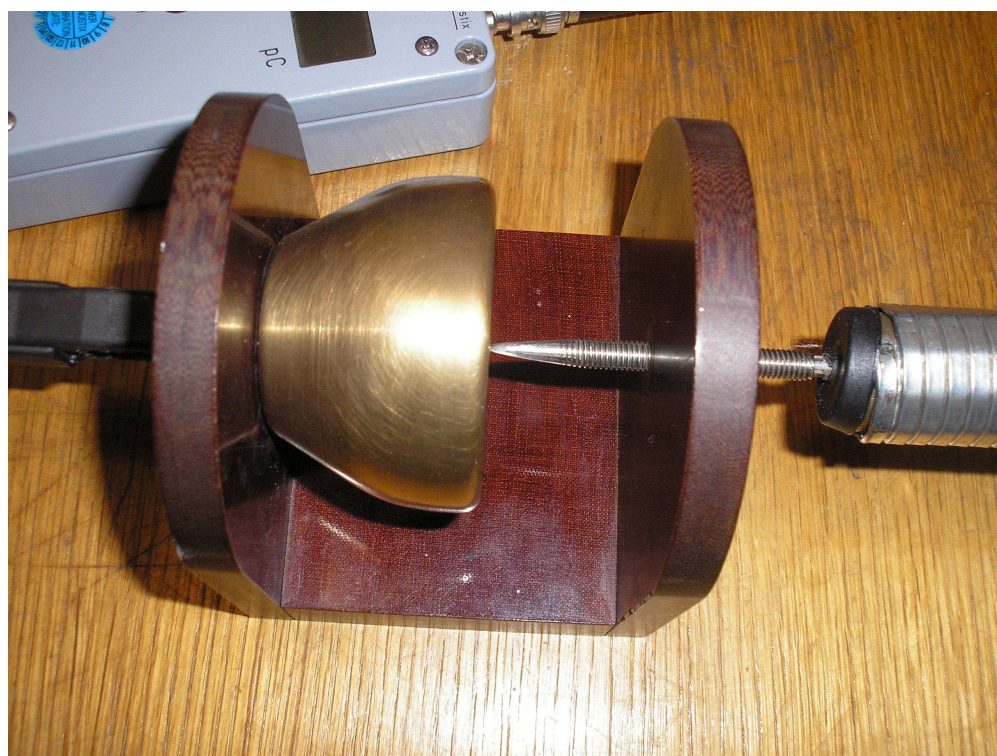
4) Kalibrátor



5) Čelní strana detektoru



6) Model korónového výboje



7) Kalibrace měřící metody – kalibrátor připojen paralelně ke zkoušenému zařízení

