

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Charakteristiky koróny na vysokonapět'ových zařízeních

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vznikem a působením koróny na vysokonapěťová zařízení. Popisuje možné metody měření charakteristik korónového výboje jako je intenzita rušení, charakter náboje a proud koróny. Měření byla provedena na třech modelech: vodič - deska, hrot - miska a na modelu průchodky.

Klíčová slova

Koróna, koróna na vysokonapěťových zařízeních, omezení koróny, využití koróny, metody pro měření charakteristik koróny, korónové rušení

Abstract

This thesis deals with the creation and action of the corona on high voltage equipment. Describes possible methods of measurements of corona discharge such as interference intensity, character of discharge and current of corona discharge. Measurements were performed on three models: wire - plate, pin - bowl and model of bushings.

Key words

Corona, corona on high voltage equipment, corona reduction, corona utilization, methods to measure characteristics of the corona, corona interference

Prohlášení

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 7.5.2015

Kateřina Černá

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavovi Hromádkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Doc. Ing. Jiří Laurencovi, CSc za poskytnutou konzultaci. Své rodině za jejich podporu a trpělivost během studia.

Obsah

OBSAH.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
ÚVOD.....	11
1 KORÓNA.....	12
1.1 Kladná koróna.....	12
1.2 Záporná koróna.....	13
2 KORÓNA NA VEDENÍ A NA VYSOKONAPĚŤOVÝCH ZAŘÍZENÍCH.....	15
2.1 Koróna na dálkových vedeních.....	15
2.1.1 Ztráty způsobené korónou na vedení.....	15
2.2 Koróna na vysokonapětových zařízeních.....	16
2.2.1 Vliv koróny na materiály vysokonapětových zařízení.....	16
2.2.2 Vliv koróny na elektrickou komunikaci, řízení a měření.....	22
3 OMEZENÍ KORÓNY.....	23
3.1 Korónové stínění.....	23
3.2 Svazkové vodiče.....	23
4 VYUŽITÍ KORÓNY.....	25
4.1 Elektrostatické odlučovače.....	25
4.2 Elektrografický tisk.....	26
4.3 Ionizátory vzduchu.....	27
5 DETEKCE KORÓNY NA VEDENÍ A VYSOKONAPĚŤOVÝCH ZAŘÍZENÍCH.....	28
6 METODY PRO MĚŘENÍ KORÓNY.....	29
6.1 Použité modely.....	29
6.2 Použité metody pro měření charakteristiky koróny.....	30
7 MĚŘENÍ KORÓNOVÉHO RUŠENÍ.....	33
7.1 Zjišťování frekvenčního pásma korónového rušení.....	33
7.2 Měření korónového rušení na modelu vodič-deska pro vodič o průměru 0,6 mm.....	36
7.3 Měření korónového rušení na modelu vodič-deska pro vodič o průměru 1,6 mm.....	38
7.4 Měření korónového rušení pro model hrot-miska.....	40
7.5 Měření korónového rušení pro model průchodky.....	42
8 MĚŘENÍ DETEKTOREM ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ.....	44
8.1 Měření detektorem částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 0,6 mm.....	44
8.2 Měření detektorem částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 1,6 mm.....	47
8.3 Měření detektorem částečných výbojů pro model hrot-miska.....	49
8.4 Měření detektorem částečných výbojů pro model průchodky.....	53
9 MĚŘENÍ PROUDU KORÓNOU PŘI STEJNOSMĚRNÉM NAPĚTÍ.....	57
10 ZÁVĚR.....	61
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	62

PŘÍLOHY.....64

Seznam symbolů a zkratk

EPDM	etylen propylen dien monomer	
IR	infračervený	
UV	ultrafialový	
C_a	měřené modely	
C_k	vazební kapacita	
Z_m	měřicí impedance	
A/D převodník	analog/digital převodník	
U_{krit}	kritické napětí koróny	(kV)
d	vzdálenost fázových vodičů	(m)
r	poloměr vodiče	(mm)
T	transmitace	(%)
A	absorbce	(%)

Úvod

Na podobu dnešních elektrických vedení a jejich zařízení má podstatný vliv i možnost vzniku korónového výboje. Korónový výboj negativně působí na materiály vysokonapěťových zařízení např. izolátorů. Zapálení výboje sebou také přináší vznik elektromagnetického pole, které se šíří do okolního prostoru a může narušit televizní nebo rádiové vysílání. Rovněž může ovlivnit přenos ovládacího signálu, jenž používají dispečerů k ovládání a řízení některých zařízení na vedení nebo v rozvodnách. Dalším negativem koróny je vznik ztrát na vedení. Tyto ztráty způsobují snížení přenášeného výkonu a tedy i vznik finančních ztrát.

Proto je kladen velký důraz na předcházení jejího vzniku. Pro prevenci vzniku koróny na vodičích jsou stanoveny jejich minimální vzdálenosti mezi sebou a poloměry pro různé napěťové úrovně. Pro chránění vysokonapěťových zařízení bylo díky mnoha výzkumům navrženo tzv. korónové stínění. Na našich stožárech velmi vysokého napětí můžeme vidět jeden typ tohoto stínění a tím jsou korónové kroužky. Jejich funkce spočívá v zrovnoměnění rozložení elektromagnetického pole po celé délce zařízení.

Avšak ani tato opatření nemusí vždy vzniku korónového výboje zamezit. Proto je také nutné se zajímat o jeho následné projevy. Metodám zjišťování charakteru koróny na laboratorních modelech i reálných uspořádáních se tato práce věnuje ve své druhé části. Za testovací modely byla zvolena uspořádání vodič-deska, hrot-miska a průchodka.

Byla zjišťována intenzita rušení způsobená korónovým výbojem. Detektorem částečných výbojů byl měřen vzniklý náboj a jeho polarita. Dalším projevem je vznik ztrát korónou, které byly snímány pro modely vodič - deska a hrot - miska mikroampérmetrem.

1 Koróna

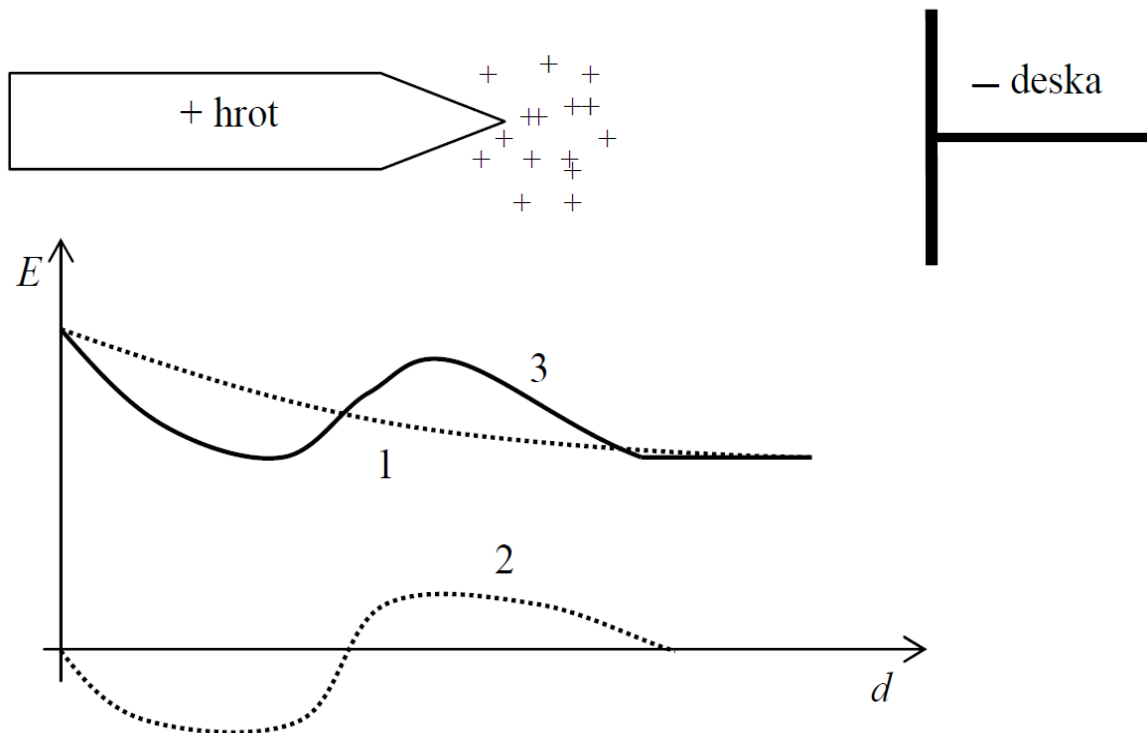
Korónou nazýváme neúplný samostatný výboj, který se tvoří v silně nehomogenním poli. Vzniká na zakřivených nebo vzdálených hranách elektrod ve vzduchu či jiných plynech. Jestliže napětí na elektrodě dosáhne hodnoty počátečního napětí koróny, vznikne v okolí elektrody svítící vrstva. Její vznik je doprovázen zvukovými efekty, jako je šum a praskání. Korónová vrstva se vytvoří jen v blízkém okolí elektrody.

Počáteční napětí koróny lze stanovit pouze v laboratorních podmínkách. Je totiž nutné, aby povrch elektrod byl čistý a dobře vyleštěný. Pokud zvyšujeme napětí elektrod a dosáhneme hodnoty počátečního napětí koróny, dojde k zvýšení hodnoty proudu. Další zvyšování napětí způsobuje rychlý růst proudu. Dochází také k rozšiřování korónové vrstvy a zvyšování jejího jasů. Pokud dále zvyšujeme napětí, korónový výboj plynule přechází v trsový a jiskrový výboj.

Koróna může vznikat na kladné i záporné elektrodě. Přestože je mechanismus vzniku koróny rozdílný, děje se tak při podobné intenzitě elektrického pole na povrchu elektrod. Korónový výboj tedy můžeme rozdělit na kladný a záporný. Kladná koróna vzniká, je-li hrot nabit kladně a deska záporně. V opačném případě jde o zápornou korónu. [9] [18]

1.1 Kladná koróna

Uvažujme dvě elektrody. Kladný hrot a zápornou desku. K těmto elektrodám připojíme napětí a zvyšujeme jeho hodnotu tak, aby byla intenzita pole v okolí hrotu dostatečně velká pro vznik nárazové ionizace. V okamžiku vzniku nárazové ionizace se začnou objevovat volné elektrony a dochází k nekontrolovatelnému lavinovému šíření elektronů směrem k hrotu. K záporné desce jsou přitahovány pomalé kladné ionty. Ty vytvoří v blízkosti hrotu kladný prostorový náboj. Tím, že se zmenší intenzita pole v okolí hrotu, dojde k zastavení lavinového šíření elektronů. K obnovení výboje dojde, až když se kladné ionty vzdálí od hrotu. Díky tomu má korónový výboj a proud koróny pulsní charakter. Průběh intenzity elektrického pole pro uspořádání kladný hrot a záporná deska je ukázán na obrázku (Obr. 1.1). [18]

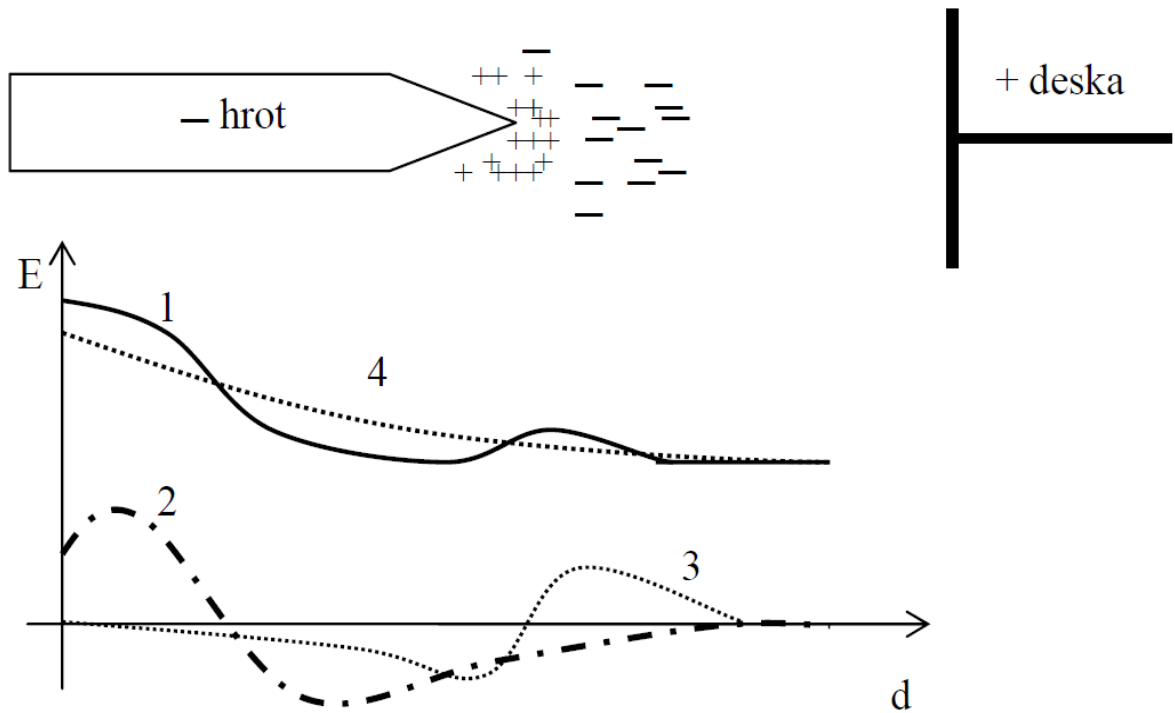


Obr. 1.1 Průběh intenzity elektrického pole pro uspořádání kladný hrot – záporná deska.
 1 – Průběh intenzity pole zapříčiněný vnějším zdrojem, 2 – Průběh intenzity pole zapříčiněný kladným prostorovým nábojem, 3 – Výsledný průběh intenzity pole [18]

1.2 Záporná koróna

V případě záporného hrotu vznikají laviny elektronů při stejném napětí. Rychle k desce se pohybující elektrony za sebou zanechávají v okolí hrotu kladný prostorový náboj z pomalu k hrotu se pohybujících kladných iontů. Jelikož jsou elektrony pohlcovány neutrálními molekulami, vzniknou tak těžké záporné ionty. Ty vytvoří záporný prostorový náboj. Kladný prostorový náboj způsobuje zvýšení intenzity elektrického pole. Záporný naopak její pokles v blízkosti hrotu. To vede k přerušení korónového výboje. Když se záporný prostorový náboj dostatečně vzdálí od hrotu, dojde k opětovnému vzniku výboje. I v tomto případě je korónový výboj pulsního charakteru.

Průběh intenzity elektrického pole pro uspořádání záporný hrot kladná deska je vidět na obrázku (Obr. 1.2). [18]



Obr. 1.2 Průběh intenzity elektrického pole pro uspořádání záporný hrot a kladná deska. 1 – Průběh intenzity el. pole zapříčiněný vnějším zdrojem, 2 – Průběh intenzity el. pole způsobený kladným objemovým nábojem, 3 – Rozložení intenzity el. pole způsobené záporným prostorovým nábojem, 4 – Výsledné rozložení intenzity el. Pole [18]

2 Koróna na vedení a na vysokonapětových zařízeních

Korónový výboj je na vedení i vysokonapětových zařízeních jevem nežádoucím. Způsobuje elektrické ztráty na vedení, poruchy v rádiovém, televizním vysílání a ve vysokofrekvenční telefonii. Také má negativní vliv na svorníky průchodek a součásti bleskojistek. Během výboje vzniká ozón a oxidy dusíku. Jejich smísením s vlhkostí vznikají kyseliny, které poškozují výše zmíněné součásti.

Vzniku koróny lze zamezit zvětšením průřezu vodičů, proti korónovou ochranou nebo použitím svazkových vodičů. [13] [22]

2.1 Koróna na dálkových vedeních

Povrchy vodičů dálkového vedení jsou pokryty nečistotami. Budeme-li zvyšovat hodnotu střídavého napětí na vedení a ta přesáhne $0,3 U_{krit}$, na záporném vodiči se na malých nečistotách a nerovnostech ukáží drobné svítící body tzv. hrotová koróna. Pokud napětí vzroste na hodnotu $0,5$ až $0,6 U_{krit}$ na větších nečistotách se objeví trsové výboje neboli přechodová koróna. Tyto výboje jsou dlouhé až několik milimetrů a jsou větší na kladném vodiči. Při napětí rovném kritickému napětí koróny se vytvoří svítící obal, který při dalším zvyšování napětí pohltí svítící body i trsové výboje a vznikne tzv. obalová koróna.

Vznik koróny lze ovlivnit volbou poloměru vodiče r a vzdáleností fázových vodičů d . Optimální hodnoty těchto veličin pro různá napětí jsou uvedeny v tabulce (Tab. 2.1). V praxi se vodiče s velkým průřezem nahrazují dutými lany nebo svazkovými vodiči. [13] [19] [22]

Tab. 2.1 Vzdálenosti a poloměry fázových vodičů, při nichž nevznikne koróna [1]

Napětí (kV)	110	220	400
Minimální vzdálenost vodičů (m)	3	5	6
Minimální průměr vodičů (mm)	12,5	26,5	50

2.1.1 Ztráty způsobené korónou na vedení

Tyto ztráty jsou nejmenší u hrotové koróny. V případě přechodové koróny mají již značně vysokou hodnotu. Ztráty způsobené obalovou korónou jsou na vedení nepřijatelné.

Ztráty korónou jsou složeny ze dvou složek:

1. Ionizační ztráty v trsech

2. Ztráty způsobené přechodem iontů z ionizační oblasti do okolí

Ztráty ovlivňuje několik faktorů. Nepříznivý vliv na jejich velikost má stav povrchu vodičů. Pokud je povrch mastný a hrubý, mohou až několikanásobně narůst. Stav povrchu i velikost ztrát se zlepšuje stárnutím lan.

Dalšími ovlivňujícími faktory jsou atmosférické poměry: tlak, teplota, vlhkost, déšť, mlha a jinovatka.

Jak už jsem uvedla, tyto ztráty se zmenšují stárnutím lan. Pokud ovšem dojde k odpojení vedení od napětí a po čase k jeho opětovnému připojení, ztráty vzrostou na hodnoty, které mělo vedení před začátkem stárnutí. Vedení je pak nutno několik hodin zatěžovat, aby hodnoty byly stejné jako před odpojením. [13] [19] [22]

2.2 Koróna na vysokonapěťových zařízeních

V případě koróny existují dva ekonomicky významné účinky na vysokonapěťová zařízení. Tyto účinky mají podstatný vliv na nárůst nákladů na provoz elektrických zařízení a systémů. Prvním účinkem je, že koróna může způsobovat zkrácení doby života elektrických izolačních systémů. Druhým že přechodné proudy doprovázející vznik koróny mohou ovlivňovat komunikační, řídicí a měřicí systémy.

2.2.1 Vliv koróny na materiály vysokonapěťových zařízení

Elektrony nebo ionty vznikající během korónového výboje bombardují materiály a společně s rostoucí teplotou způsobují jejich erozi, narušují nebo mění jejich atomovou nebo molekulární strukturu. Vedlejším produktem tohoto procesu je vznik nových látek, které předtím nebyly přítomny. Tyto nové látky mohou chemicky reagovat s látkami v jejich okolí. Důsledkem těchto reakcí může být koroze materiálů.

Abychom zjistili jakým způsobem se projeví koróna, musíme určit aktuální stav materiálů. K tomuto účelu existuje celá řada technik. Např.:

1. Určení rezistivity materiálu
2. Skenování povrchu elektronovým mikroskopem
3. Infračervená spektroskopie

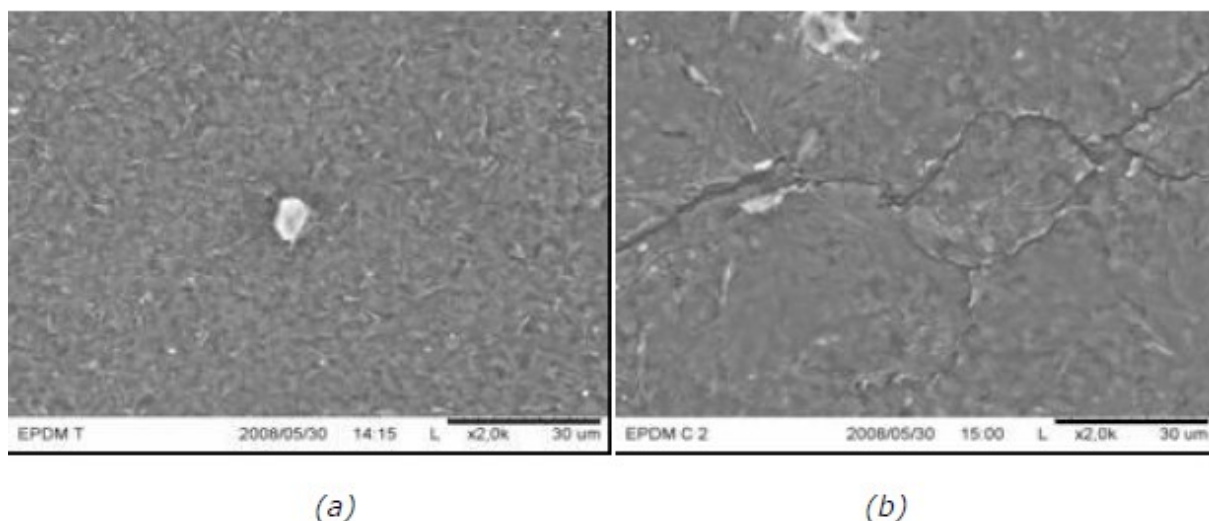
a další.

- **Určení rezistivity materiálu**

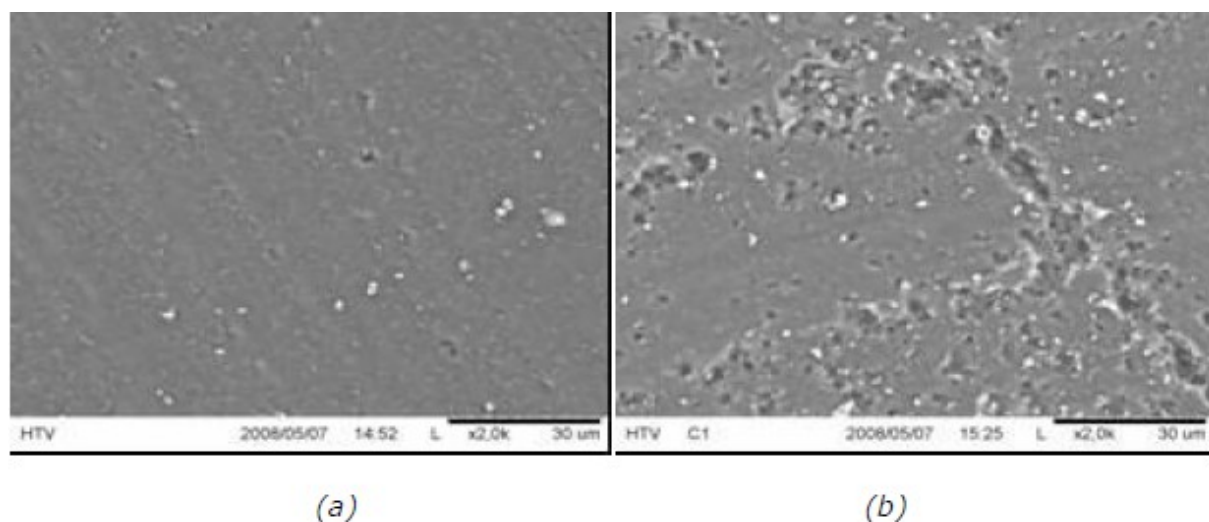
Rezistivita je jednou ze základních dielektrických vlastností polymerních materiálů. Tato vlastnost může být použita jako indikátor změn způsobených stárnutím materiálu. Technika spočívá v tom, že na vzorek aplikujeme známé napětí a změříme proud. Rezistivitu lze poté získat pouhým výpočtem z Ohmova zákona. Během měření se zjišťuje povrchová i objemová rezistivita. Objemová je měřena přes celou tloušťku vzorku, povrchová podél jeho povrchu. Obvyklé hodnoty jsou pro povrchovou rezistivitu v rozsahu od 10^{13} do $10^{17} \Omega$ a pro objemovou od 10^{13} do $10^{18} \Omega\text{cm}$. V průběhu měření musíme dbát na to, aby byly zajištěny stejné podmínky pro všechny vzorky. Jedná se hlavně o dodržení stejné teploty, vlhkosti a hodnoty aplikovaného napětí. Je také nutné zachovat čistotu vzorků před i během testování.

- **Skenování povrchu elektronovým mikroskopem**

Metodu lze aplikovat na materiály vystavené korónovému výboji, abychom zjistili jeho účinky. Princip metody spočívá ve skenování povrchu vysokoenergetickým paprskem elektronů. Tyto elektrony interagují s atomy, které obsahují informace o topologii povrchu, složení jakož i další vlastnosti jako je elektrická vodivost. Snímky z elektronového mikroskopu pro etylen propylen dien monomer (EPDM) a silikon jsou vidět na obrázcích (Obr. 2.1) a (Obr. 2.2). EPDM a silikon jsou nejčastěji používané polymerní materiály pro výrobu dnešních zařízení.



Obr. 2.1 Snímky vzorku EPDM z elektronového mikroskopu. Na obrázku (a) je vzorek před vznikem korónového výboje. Obrázek (b) ukazuje vzniklé praskliny na povrchu vzorku po expozici korónou [10]



Obr. 2.2 Snímky vzorku silikonu z elektronového mikroskopu. Na obrázku (a) je vzorek před vznikem korónového výboje. Obrázek (b) ukazuje vzniklé praskliny na povrchu vzorku po expozici korónou [10]

Pokud vzorky silikonu, z něhož jsou vyrobeny například izolátory, vystavíme korónovým výbojům, po určitém čase se na něm objeví praskliny. Při nízké vlhkosti se na povrchu silikonových vzorků začínají objevovat po 200 hodinách. Tyto praskliny se po dalším čase vyvinou v mělké pukliny a dále se pak rozšiřují a prohlubují. Po 500 hodinách jsou na povrchu patrné praskliny, jejichž hloubka může být až 2,5 mm.

Pokud vzorky vystavíme vyšší vlhkosti, zkrátí se čas, v němž se objeví první praskliny, až na 130 hodin. Pokud jsou navíc tyto vzorky vystaveny mechanickému namáhání, dochází ke zvětšení délky prasklin na 6 až 7 mm a hloubky až na 3 mm.

V případě EPDM dochází k méně výraznému poškození povrchu. Po vystavení povrchu materiálu 500 hodinové expozici dochází k jeho zdrsnutí a ztmavnutí. Pokud na vzorek aplikujeme i mechanické namáhání dojde k jeho rozpraskání.

Shrnutí získaných výsledků je uvedeno v tabulce 2.2 a 2.3. Je tedy patrné, že na vliv na stav povrchu materiálů má nejen délka expozice ale i materiál, z něhož je zařízení vyrobeno, mechanické namáhání a vlhkost.

Tab. 2.2 Výsledky získané po vystavení silikonových vzorků korónovým výbojům po 500 hodinách [11]

Testovací podmínky	Projevy na materiálu
Vysoká vlhkost (95-100%), mechanické namáhání	Praskliny hluboké až 3 mm, zesvětlení povrchu
Vysoká vlhkost (95-100%), bez mechanického namáhání	Praskliny hluboké až 2 mm, zesvětlení povrchu
Nízká vlhkost (35-40%), bez mechanického namáhání	Praskliny hluboké až 2,5 mm, zesvětlení povrchu

Tab. 2.3 Výsledky získané po vystavení EPDM vzorků korónovým výbojům po 500 hodinách [11]

Testovací podmínky	Projevy na materiálu
Vysoká vlhkost (95-100%), mechanické namáhání	Ztmavnutí povrchu, mělké rozpraskání
Vysoká vlhkost (95-100%), bez mechanického namáhání	Ztmavnutí a zdrsnutí povrchu
Nízká vlhkost (35-40%), bez mechanického namáhání	Ztmavnutí a zdrsnutí povrchu

- **Infračervená spektroskopie**

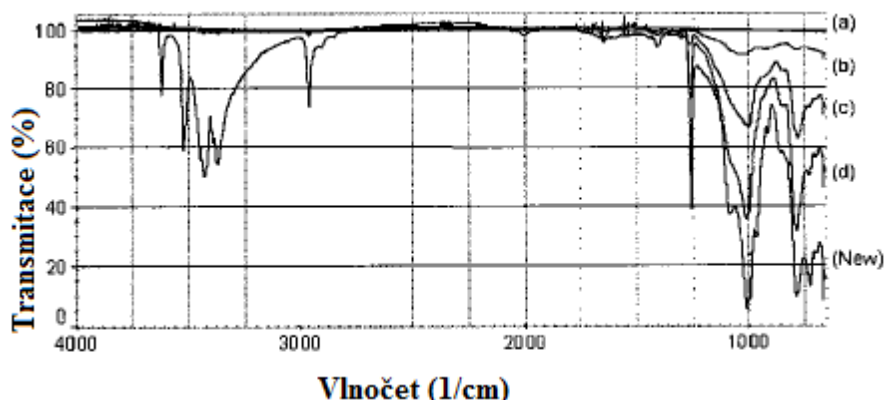
Během korónového výboje byly pozorovány chemické změny složení polymerů. Tyto změny se projevovaly jako kruhy se středy v místě působení koróny. Aby bylo možné vyšetřit tyto změny ve struktuře, byly silikonové vzorky během testování pravidelně podrobovány spektrální analýze.

IR spektroskopie je používána k určení chemické struktury. Umožňuje velice rychlou analýzu, je dostatečně citlivá s nízkými náklady. Touto technikou zjišťujeme, kolik infračerveného záření o různé vlnové délce analyzovaný materiál pohltí. Rozsah vlnových

délek IR záření lze podle rozpětí vlnočtů rozdělit na tři oblasti. Na blízkou oblast s vlnočtů od 13000 do 4000 cm^{-1} , střední od 4000 do 200 cm^{-1} a vzdálenou od 200 do 10 cm^{-1} . Nejvíce měření se provádí pro střední oblast.

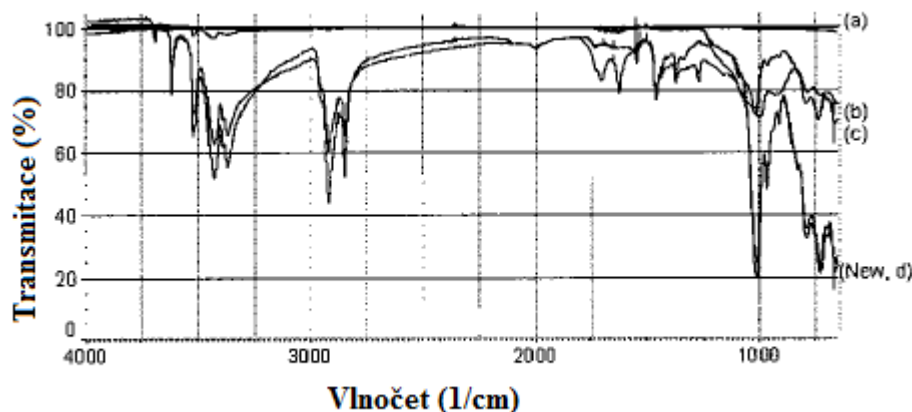
Metoda je založena na principu absorpce IR záření při průniku vzorkem. Při absorpci dochází ke změnám rotačně vibračních energetických stavů molekuly v závislosti na změnách dipólového momentu molekuly. Výstupem je infračervené spektrum, které graficky vyjadřuje závislost energie, vyjádřené v procentech transmitance T (poměr intenzity záření prošlé vzorkem k intenzitě záření vycházející ze zdroje) nebo jednotkám absorpce A (dekadický logaritmus převrácené hodnoty transmitance), na vlnové délce.

Tato technika umožňuje identifikovat funkční skupiny: $-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, $\text{N}-\text{H}$, CH_3 a jiné. Tyto skupiny jsou ve zvýšené míře přítomny v materiálu, který byl vystaven korónovému výboji. U vzorku silikonu skupiny OH brání absorpci na vlnočtu 3300 cm^{-1} , CH_3 na 2960 cm^{-1} a $\text{Si}-\text{CH}_3$ na vlnočtech od 1270 do 1255 cm^{-1} . Tato skutečnost se na grafu projeví narovnaním křivky. Jak je patrné na obrázku (Obr. 2.3).



Obr. 2.3 Infračervené spektrum pro vzorek silikonu po 500 hodinách vystavení korónovému výboji za vysoké vlhkosti. Křivky (a) až (d) vyjadřují vzdálenost od místa vzniku koróny, přičemž křivka (a) je nejbližší centru. Křivka označená New charakterizuje vzorek, který nebyl vystaven korónovému výboji [11]

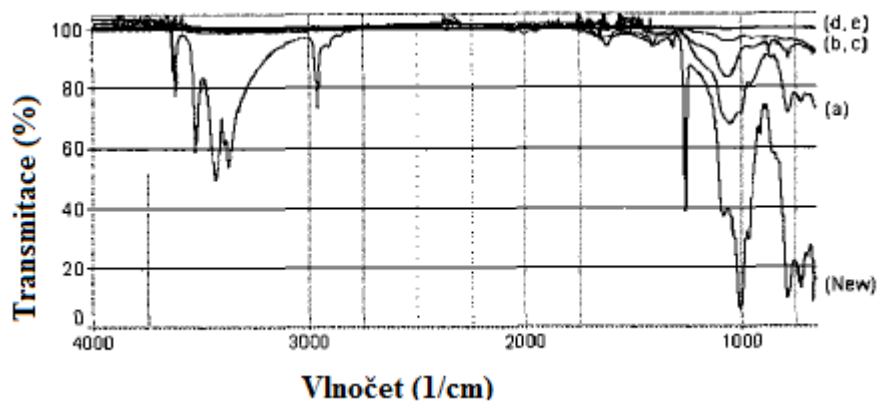
V případě EPDM se absence absorpce způsobená CH_3 projevuje v pásmu od 2950 do 1460 cm^{-1} . Na vlnočtu 1718 cm^{-1} je vidět přítomnost keton karbonylu $\text{C}=\text{O}$. Obrázek (Obr. 2.4).



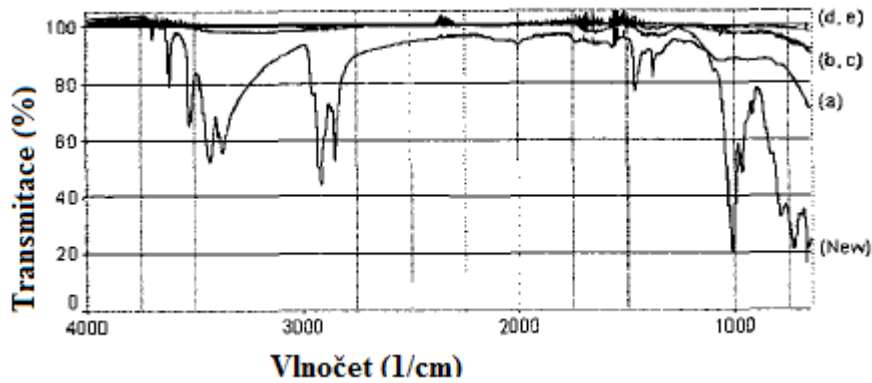
Obr. 2.4 Infračervené spektrum pro vzorek EPDM po 500 hodinách vystavení korónovému výboji za vysoké vlhkosti. Křivky (a) až (d) vyjadřují vzdálenost od místa vzniku koróny, přičemž křivka (a) je nejbližší centru. Křivka označená New charakterizuje vzorek, který nebyl vystaven korónovému výboji [11]

Při porovnání obrázků (Obr. 2.3) a (Obr. 2.4) je patrné, že pro různé polymery se na jejich povrchu po vzniku korónového výboje objeví odlišné skupiny chemických látek.

Na obrázcích (Obr. 2.5) a (Obr. 2.6) je znázorněno infračervené spektrum opět pro vzorek silikonu a EPDM. Tentokrát se ovšem jedná o jeho vývoj během času expozice. Můžeme zde vidět postupný vývin chemických skupin během doby působení korónového výboje. Po 500 hodinách je absorpce infračerveného záření velice malá.



Obr. 2.5 Infračervené spektrum vzorku silikonu za normální vlhkosti. Křivka (a) je infračervené spektrum po 100 h, (b) po 200 h, (c) po 300 h a (d) po 500 h. Křivka New označuje vzorek, který nebyl vystaven expozici. Spektrum bylo měřeno v místě vzniku výboje [11]



Obr. 2.6 Infračervené spektrum vzorku EPDM za normální vlhkosti. Křivka (a) je infračervené spektrum po 100 h, (b) po 200 h, (c) po 300 h a (d) po 500 h. New označuje vzorek, který nebyl vystaven expozici. Spektrum bylo měřeno v místě vzniku výboje [11]

Co se týče vlivu korónového výboje na jiné druhy materiálů, které se používají k výrobě vysokonapětových zařízení jako je keramika nebo sklo, je mnohem menší. Proč tedy používáme polymerních materiálů? Výhodou je především snadnější manipulace při instalaci, nižší hmotnost, hydrofobicita a odolnost těchto materiálů v širokém rozsahu teplot. [7] [10] [11] [13]

2.2.2 Vliv koróny na elektrickou komunikaci, řízení a měření

Proudové pulsy produkované korónou v obvodech zařízeních mohou mít velmi krátkou dobu náběhu, vysokou četnost opakování a dostatečnou amplitudu pro to, aby mohly simulovat, falšovat, zkreslovat nebo maskovat signály, které se používají k elektrické komunikaci, řízení a měření. Proudové pulsy, kvůli své přirozené povaze, mohou být přeneseny z obvodů, v nichž vznikly do jiných, díky magnetickým nebo elektrostatickým vazbám.

Proto korónové testy, které se tvoří pro posouzení elektrických poruch, jenž způsobuje koróna, musí poskytovat informace o podmínkách, při nichž mohou tyto poruchy vzniknout. Pokud dojde ke vzniku poruchy, musí nás informovat o jejím tvaru nebo kmitočtovém spektru, četnosti opakování, amplitudě a periodě s jakou k nim dochází během provozu zařízení nebo v testovaném obvodu. [4]

3 Omezení koróny

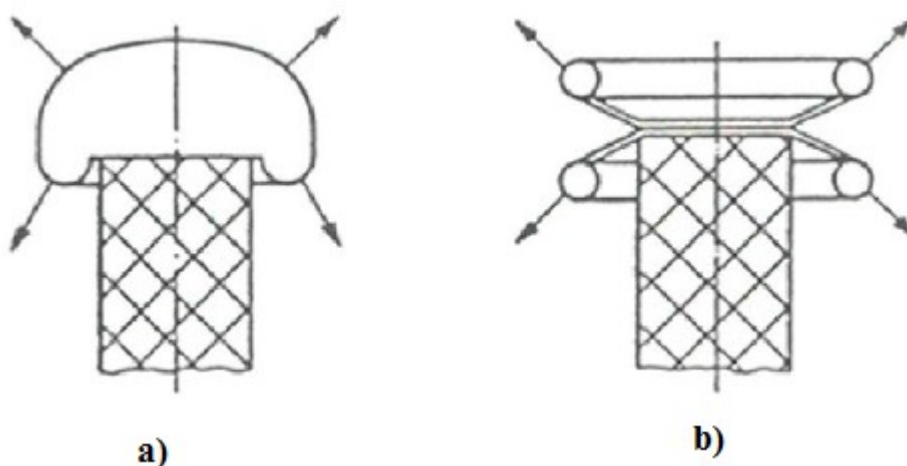
Nejjednodušším způsobem jak zabránit vzniku koróny na vysokonapětových zařízeních je omezit výskyt ostrých hran. V místech, kde nelze použít toto opatření mohou být vhodnou náhradou korónová stínění.

Omezení vzniku koróny u vodičů lze provést zvětšením průměru vodiče. Průměr vodiče zvětšujeme úměrně s růstem napětí. Pro napětové hladiny nad 220 kV je namísto zvětšování průměru vodiče upřednostňováno použití svazkových vodičů. Při napětí 400 kV je použití svazkových vodičů nutností. [12]

3.1 Korónové stínění

Korónové stínění se umísťuje na vysokonapětová zařízení, jako jsou vysokonapětové transformátory, kondenzátory, rozvaděče apod. Je navrhováno tak, aby nedocházelo ke zvyšování intenzity elektrického pole, což by vedlo ke vzniku koróny a částečných výbojů. Existuje v mnoha tvarech, velikostech a formách. Jedna z jednodušších forem korónového stínění je zobrazena na obrázku (Obr. 3.1). Šípkami jsou označena místa s nejvyšší intenzitou elektrického pole. [12]

Obr. 3.1 Forma korónového stínění, a) vyčnívající elektroda, b) dvojitá prstencová elektroda [12]



3.2 Svazkové vodiče

Jak už bylo řečeno, svazkové vodiče se používají na vedení od 220 kV. Výhoda je v tom, že u svazkových vodičů, o stejném průřezu jako jednoduchý vodič, vzniká koróna

při vyšším napětí. Intenzita elektrického pole je totiž nižší na povrchu jednotlivých vodičů než u jednoho jim odpovídajícího vodiče. Svazkové vodiče v České republice obsahují dva vodiče ve svazku pro síť 220 kV a tři pro síť 400 kV.

Svazkové vodiče mají i další výhody. Například díky svému většímu povrchu lépe odvádějí teplo, snáze se s nimi manipuluje a mají menší provozní indukčnost, což znamená i menší úbytek napětí. [22]

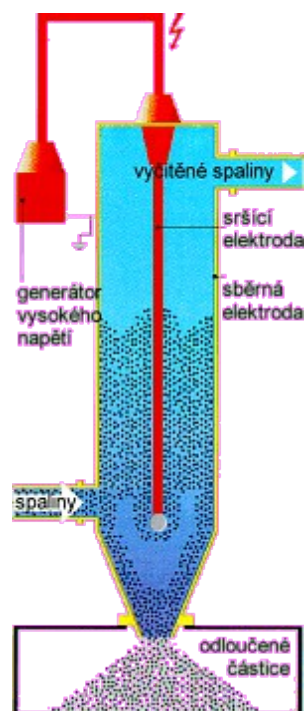
4 Využití koróny

Korónové výboje nezpůsobují jen ztráty na vedení a poškozování vysokonapěťových zařízení, ale mají i praktické využití. Používají se v elektrostatických filtrech, čističích vzduchů, při nanášení práškových barev, k likvidaci hmyzu a v elektrostatických odlučovačích.

4.1 Elektrostatické odlučovače

Elektrostatické odlučovače jsou dnes nejvyužívanějším nástrojem pro odstraňování tuhých částic ze spalin v elektrárnách. Dokáží zachytit více než 99 % popílku a pomáhají plnit limity pro obsah tuhých látek ve spalinách, které jsou v České republice dány zákonem.

Pracují tak, že ve spalinách proudících odlučovačem jsou umístěny dva typy elektrod: sršící a sběrné elektrody. Sršící elektrody jsou připojeny k zápornému pólu a sběrné elektrody ke kladnému pólu stejnosměrného zdroje. Díky elektrickému proudu o vysokém napětí vzniká mezi sršícími a sběrnými elektrodami silné elektrostatické pole. Na povrchu sršících elektrod se vytváří koróna, který produkuje záporné ionty. Ty se pohybují ke kladně nabitým sběrným elektrodám. Tuhé částice ve spalinách se záporně nabijí. Poté jsou přitaženy ke kladně nabitým sběrným elektrodám, na kterých se zachytí. Tuhé částice jsou posléze z těchto elektrod mechanicky odstraněny pomocí kladiv. Obrázek elektrostatického odlučovače je uveden na obrázku (Obr. 4.1).



Obr. 4.1 Elektrostatický odlučovač [2]

Účinnost elektrostatického odlučovače lze zvýšit zvýšením napětí na elektrodách. Používá se napětí v rozsahu 55 až 75 kV. Jako sršící elektrody se používají tenké dráty o různých průměrech, které jsou napnuty ve vzdálenostech 15 až 20 cm od sebe. Sběrné elektrody mají tvar podle toho, jak je daný odlučovač konstruovaný a jeho využití. Nejčastěji jsou používané tvarované desky nebo trubky ve vzdálenostech 30 až 40 cm. [2] [3]

4.2 Elektrografický tisk

Též nazývaný xerografie, která dnes patří k nejvýznamnější digitální technikou tisku, jelikož je používán laserovou i LED technologií v tonerových tiskárnách. Obsahuje malé zařízení vytvářející korónu, které vytváří povrchový náboj. Princip tisku spočívá v tom, že je pomocí náboje exponován světlocitlivý válec tak, že se na něm vytvoří požadovaný obraz. Na povrch válce se poté uchytlí opačně nabitý toner, který se uchytlí pouze na vytvořeném obrazu. Toner je poté přenesen na papír, který má opačný náboj. Náboj papíru je zajištěn zdrojem, který produkuje elektrické pole a je umístěn z druhé strany. Výboj koróny je poté použit k odstranění přebytečného náboje na světlocitlivém válci, aby mohl být opět použit.

Polarita koróny, která slouží k nabití válce, závisí na použitém toneru. Nejčastěji se jedná o zápornou korónu. Koróna sloužící k přenosu toneru na papír musí být stejné polarity. Opačné polarity je pak koróna, která neutralizuje náboj na světlocitlivém válci. [6] [20]

4.3 Ionizátory vzduchu

Ionizátory vzduchu mají široké využití. Používají se v domácnostech, kde snižují koncentraci prachu v obytných prostorech. V elektrotechnice jsou například používány při výrobě základního materiálu pro desky plošných spojů. Prachové částice, které by se vnikly do substrátu, by mohly způsobit poruchy při pozdějším používání desky plošného spoje. Nežádoucím jsou také povrchové náboje. Povrchové náboje mohou způsobit, že tenké vrstvy oxidů na deskách nebudou vést elektrický proud.

Korónová zařízení jsou konstruována tak, aby neutralizovala povrchové náboje tím, že záměrně produkují ionty kladných i záporných polarit. Ionizátory se obvykle umísťují ke stropům místností. Díky proudění vzduchu se produkované ionty dostávají do okolního prostoru.

V blízkosti pracovní plochy jsou umístěny systémy, které monitorují rovnováhu mezi zápornými a kladnými ionty. Pokud je tato rovnováha narušena zvýší se produkce iontů o opačném náboji.

Existují i jiné druhy systémů. Některé systémy přepínají mezi polaritami. Toto přepínání způsobuje nepřetržitou změnu polarit povrchových nábojů tak, že ani jedna z polarit není příliš velká. Koncentrace iontů je dostatečně velká, aby rychle překonala statický náboj, který vzniká při manipulaci s deskami plošných spojů.

Další systémy využívají korónu obou polarit. K udržení dostatečné koncentrace iontů obou polarit, které by rychle zneutralizovali povrchové náboje, je nutné, aby tyto systémy pracovaly s vyššími proudy. [6]

5 Detekce koróny na vedení a vysokonapětových zařízeních

Jelikož korónový výboj produkuje světlo, zvuk a proudové pulsy, můžeme k jeho detekci použít tři metody.

Během výboje koróny vzniká světlo. Jeho převážná část je v UV oblasti a to především v pásmu 230 – 405 nm. Zařízení pro detekci koróny zobrazuje jednak výboje ale i zařízení v jejich blízkosti. Obsahují speciální filtry, které maximalizují kontrast mezi korónou a pozadím. Nevýhodou těchto zařízení je, že mohou zobrazovat korónu a částečné výboje s velmi dobrým kontrastem pouze ve tmě nebo při tlumeném světle.

Pro práci za denního světla musíme využít takzvané DayCor kamery. Tyto kamery jsou schopné detekovat a zobrazovat zdroje UV záření ve spektrálním pásmu 240 až 280 nm. Kromě detektoru UV záření obsahují i speciální filtr, který potlačuje sluneční záření.

Dalším způsobem detekce koróny je využití zařízení s ultrazvukovými tlakovými senzory. Tuto metodu lze využít jen v případě, kdy koróna vzniká v prostředí s volně proudícím vzduchem. Ve volně proudícím vzduchu dokáže tlak, způsobený výbojem, dosáhnout ultrazvukového tlakového senzoru bez velkého útlumu. Tlakový senzor je velice polohově citlivý, což nám umožňuje s mimořádnou přesností lokalizovat i ta místa vzniku poruchy, která jsou relativně blízko sebe.

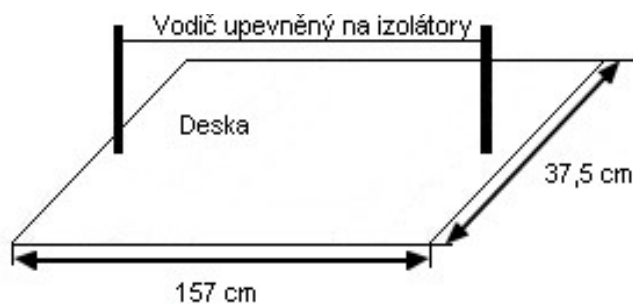
Nejvíce používanou metodou k odhalení koróny je zobrazení elektrických signálů, které odpovídají proudovým pulsům ve vnějším obvodu připojeném k elektrodám izolačního systému, kde dochází k jejímu vzniku. [8] [9]

6 Metody pro měření koróny

6.1 Použité modely

- **Model vodič - deska**

Jedná se o dřevěnou desku o rozměrech 157x37,5 cm, pokrytou 0,2 mm tlustým plechem. Nad deskou je natažen vodič, jehož délka je 120 cm. Na obou koncích je připevněn na izolátory. Vodič jsme volili dvou průměrů a to 0,6 a 1,6 mm. Nákres je uveden na obrázku (Obr. 6.1). Koróna na tomto modelu vzniká stejně jako na dálkových vedeních v kapitole 2.1.



Obr. 6.1 Nákres použitého modelu vodič - deska

- **Model hrot-miska**

Model je složen z kovové misky a posuvného hrotu umístěných v dřevěné konstrukci. Geometrie tohoto modelu je dána normou ČSN 34 5608 Zkoušení elektrotechnických výrobků, která je od dubna 2006 neplatná.

Během měření byl hrot připojen k napájecímu napětí a miska uzemněná.

- **Model průchodky**

Na průchodkách, kabelových koncovkách, výstupech vinutí z drážek a kondenzátorech se vyskytují klouzavé výboje. Na průchodce můžeme ve tmě spatřit na okraji objímky při určitém napětí souvislý výbojový prsteneček. Toto napětí se analogicky jako v případě koróny nazývá počátečním napětím koróny. Pokud zvyšujeme napětí, výboj se v podobě světélkujících vláken šíří po povrchu izolační trubky. Toto stádium se označuje jako pásový výboj. Vzniká při obou polaritách napájecího napětí. Pokud bude na elektrodě kladná polarita světélkující vlákna budou dlouhá ale méně jasná. Naopak je tomu při záporné polaritě. Pokud

hodnota napětí přesáhne počáteční napětí klouzavých stvolů, vlákna začnou rychle růst a některá z nich vytvoří modrobílý rozvětvený stvol. Při dalším zvýšení napětí se tyto útvary změní v klouzavé jiskry, které přeskakují až na druhou elektrodu.

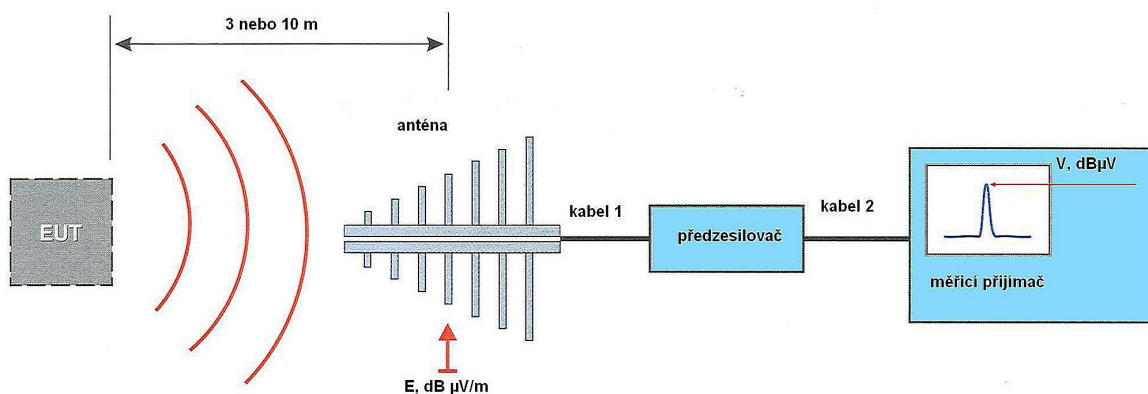
Nutnou podmínkou pro vznik tohoto druhu výboje je šikmý směr vstupu silových čar elektrického pole do rozhraní vzduchu a pevného izolantu.

Během našeho měření jsme napětí nezvyšovali na takovou hodnotu, aby došlo ke vzniku klouzavých stvolů a jisker. Ve tmě jsme tedy pozorovali jen pásový výboj. [19]

6.2 Použité metody pro měření charakteristiky koróny

- **Měření intenzity rušení způsobeného korónou**

K našim účelům jsme využili pro měření rušení antény. Anténa slouží k příjmu elektromagnetického rušení a je přes zesilovač přivedeno na měřicí přijímač jak je ukázáno na obrázku (Obr. 6.2).



Obr. 6.2 Schéma pro měření korónového rušení anténou [17]

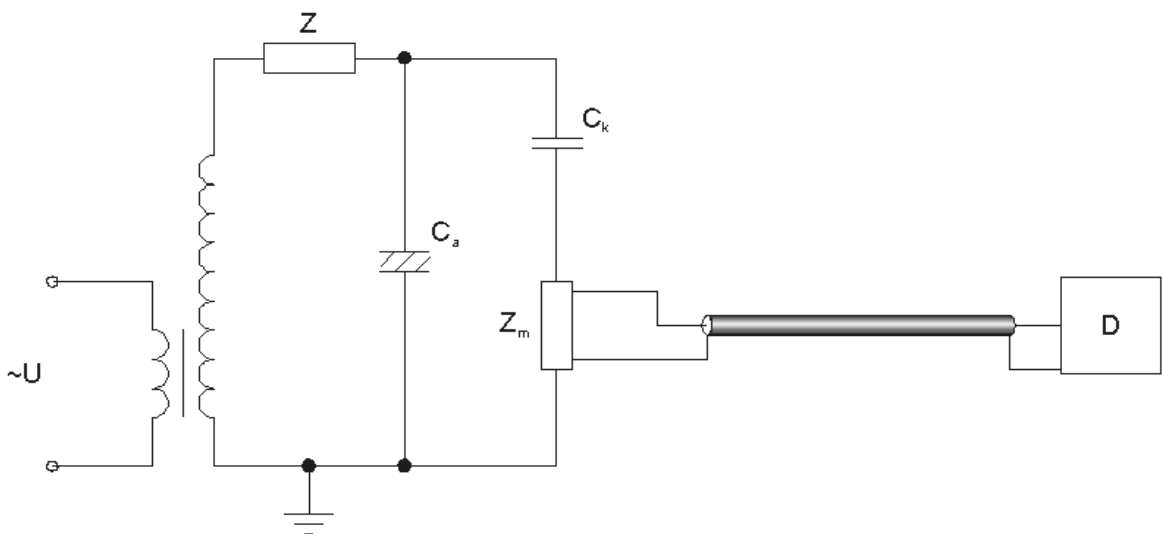
V pásmu od 150 kHz do 30 MHz je většina rušení způsobena magnetickou složkou pole. U vyšších frekvencí se naopak spíše uplatňuje elektrická. Z tohoto důvodu jsou k měřením využívány rozdílné typy antén. Při našem měření jsme pro určení magnetické složky pole použili smyčkovou anténu, která měří v rozsahu od 9 kHz do 30 MHz. Elektrickou složku pole jsme snímali bikónickou anténou a to od 30 do 200 MHz. Pro frekvence nad 200 MHz až do 3GHz byla použita logaritmicko-periodická anténa.

Abychom omezili vliv okolních zdrojů elektromagnetického rušení, k měření jsme užili bezodrazovou komoru. Bezodrazová komora je elektromagneticky odstíněný prostor. Vnitřní stěny, strop ale i podlaha jsou pokryty elektromagnetickým absorpčním materiálem.

Tento materiál slouží k omezení zdrojů polí uvnitř komory v širokém pásmu frekvencí. Jejich činnost je založena na přeměně energie dopadajících elektromagnetických vln na teplo s využitím dielektrických ztrát. Již zmíněné absorbéry mohou být dvou typů: v podobě destiček nebo jehlanů či kuželů.

- **Měření detektorem částečných výbojů**

Zapojení použité k realizaci tohoto měření je zobrazeno na obrázku (Obr. 6.3). Zdroj střídavého napájecího napětí je bezvýbojový transformátor. K němu byly paralelně postupně připojeny měřené modely (ve schématu označené jako C_a). C_k představuje vazební kapacitu, která je tvořena sériově zapojenými kondenzátory. V obvodu slouží k přerozdělení náboje. V její spodní části je měřicí impedance Z_m . Měřicí impedance je používána k zaznamenání měřeného proudového impulsu a k jeho následnému zpracování (zesílení, integrace). Impulzy jsou následně přeneseny z integračního obvodu na detektor. Ten je tvořen zesilovačem, kalibrátorem a zobrazovací jednotkou. Impulzy částečných výbojů jsou zpracovávány v A/D převodníku, který je převádí do digitální podoby a určuje jejich velikost a polaritu. Před měřením je nutno A/D převodník nastavit pomocí software počítače. [21]



Obr. 6.3 Zkušební obvod pro měření na detektoru částečných výbojů [21]

- **Měření ztrát korónou při stejnosměrném napětí**

Při tomto měření se k modelu připojil zdroj stejnosměrného napětí kladné a záporné polarity. Napětí na vodiči bylo měřeno obvodem složeným z voltmetru a odporového děliče. Proud koróny jsme zaznamenávali mikroampérmetrem zapojeným mezi modelem a zemí.

Ztráty korónou jsme měřili pouze pro dva modely vodič-deska a hrot-miska. V případě modelu průchodky jsme měření neprováděly.

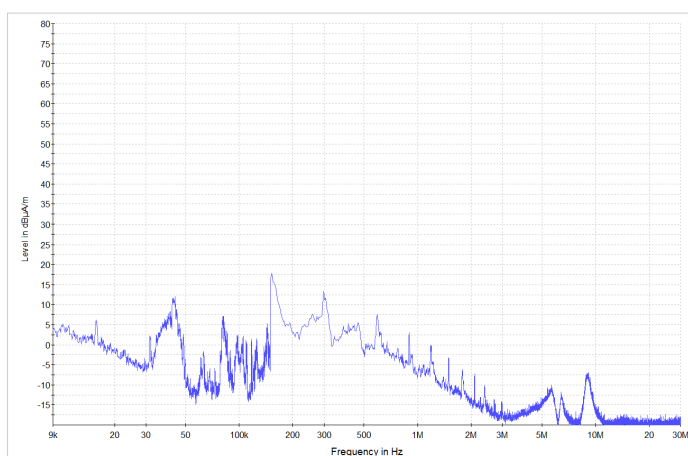
7 Měření korónového rušení

Jak již bylo uvedeno, vzniklé elektromagnetické rušení pro všechny tři modely bylo snímáno anténou. Abychom určily typ antény, kterým budeme měřit, museli jsme nejprve zjistit frekvence, na kterých se korónové rušení projevuje.

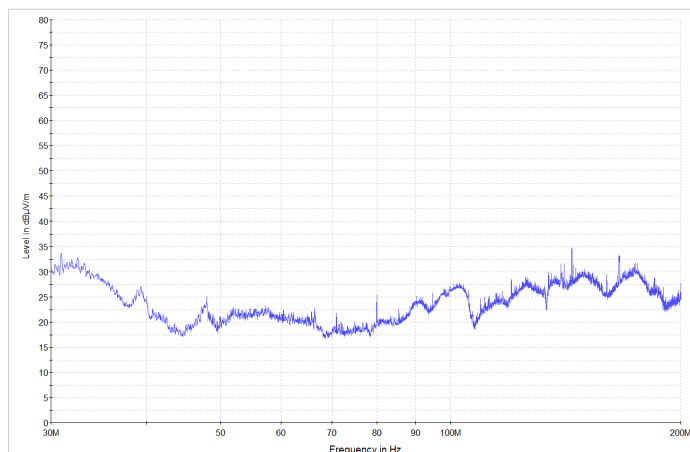
7.1 Zjišťování frekvenčního pásma korónového rušení

Měření jsme prováděli pro model vodič-deska. Jako zdroj napájení byl použit autotransformátor. Ten byl připojen přes přístrojový transformátor ke zkoušenému objektu.

Měřili jsme nejprve smyčkovou anténou v pásmu od 9 kHz do 30 MHz a to ve vzdálenosti 3 m od modelu. Pro pásmo vyšších frekvencí jsme použili bikónickou anténu, s níž jsme měřili od 30 MHz do 200 MHz ve vzdálenosti 3 m od modelu. Pro odlišení rušení způsobeného korónovým výbojem jsme nejprve změřili pozadí. To je pro oba typy antén na obrázcích (Obr. 7.1) a (Obr. 7.2).

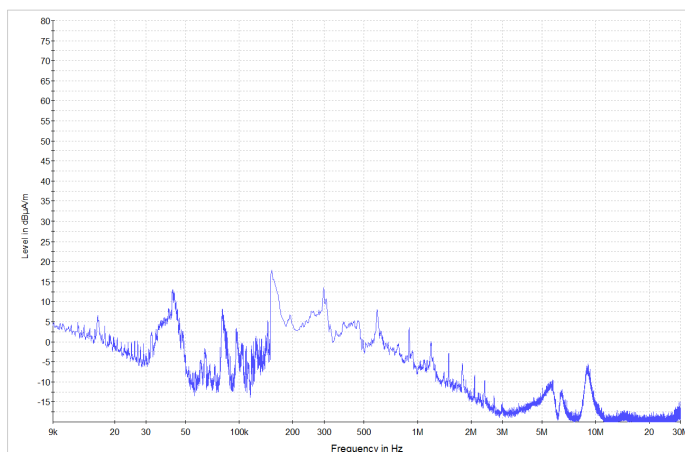


Obr. 7.1 Elektromagnetické pozadí změřené smyčkovou anténou ve 3 metrech

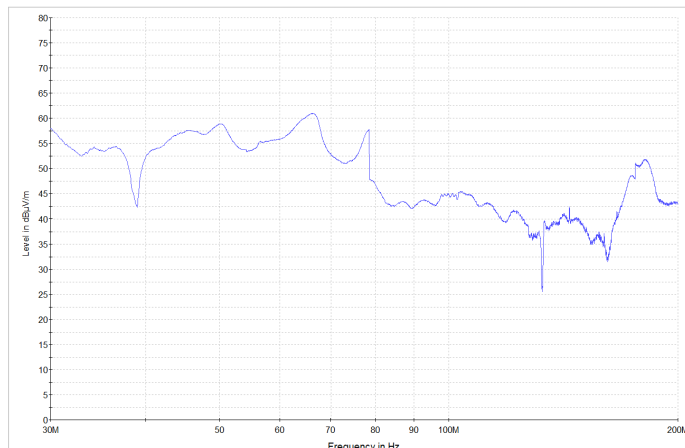


Obr. 7.2 Elektromagnetické pozadí změřené bikónickou anténou ve 3 metrech

Po změření pozadí jsme zapnuli autotransformátor a zvýšili napětí na testovaném modelu na 5 kV. Při této hodnotě napětí ještě nedošlo k zapálení koróny. Obrázky (Obr. 7.3) a (Obr. 7.4).



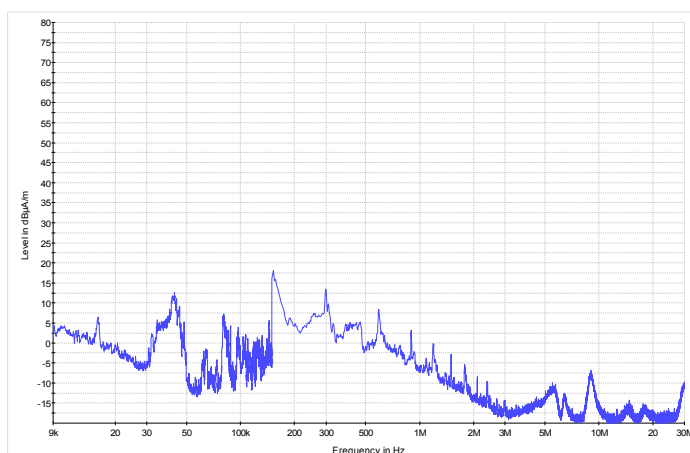
Obr. 7.3 Měření intenzity rušivého mag. pole smyčkovou anténou při napětí 5 kV ve 3 metrech



Obr. 7.4 Měření intenzity rušivého el. pole bikónickou anténou při napětí 5 kV ve 3 metrech

Při porovnání získaného pozadí s intenzitou rušivého magnetického pole, změřeného smyčkovou anténou, zobrazenou na obrázku (Obr. 7.3), můžeme vidět drobný nárůst rušení pro frekvence v blízkosti 30 MHz. Toto rušení pokračuje dále i v pásmu frekvencí od 30 MHz do 200 MHz. Maximální hodnota intenzity rušení zde dosahovala až 60 dB μ V/m. Toto rušení ovšem není způsobeno korónou. Jeho zdroji jsou pravděpodobně autotransformátor a kilovoltmetr, kterým jsme měřili napětí na modelu.

K zapálení korónového výboje došlo zhruba kolem 13 kV. Provedli jsme měření vyzářovaného rušení, které je na obrázku (Obr. 7.5). Můžeme vidět nárůst intenzity rušení v okolí 30 MHz. Můžeme tedy usuzovat, že koróna způsobuje rušení v pásmu od 30 MHz výše.



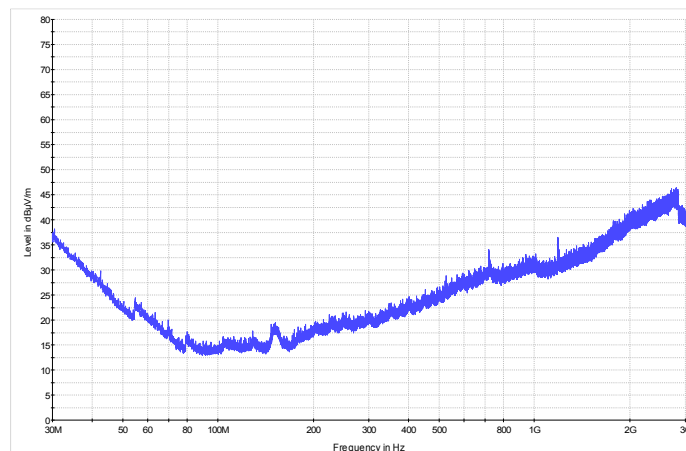
Obr. 7.5 Měření intenzity rušivého mag. pole smyčkovou anténou při napětí 15 kV ve 3 metrech

7.2 Měření korónového rušení na modelu vodič-deska pro vodič o průměru 0,6 mm

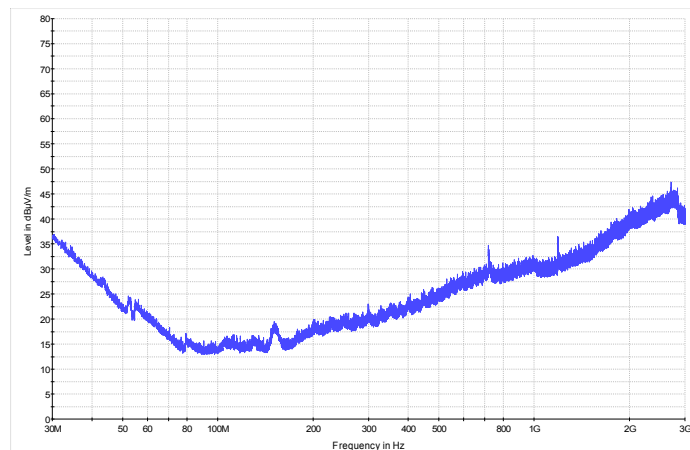
Abychom předešli vzniku výbojů na přívodních vodičích, v místech připojení nebo na ostrých hranách, provedli jsme na modelu drobné úpravy.

Vodič jsme připojili přímo na šrouby. Hrany šroubů byly ztupeny, abychom na nich zamezili vzniku koróny. Vodič, jímž jsme přiváděli napětí z přístrojového transformátoru na model, jsme opatřili stínící trubkou. K snímání intenzity rušení byla použita anténa s označením BTA – M, která snímá v pásmu frekvencí od 30 MHz do 3 GHz. Toto pásmo bylo zvoleno na základě předchozích měření, během nichž jsme zjistili, že rušení způsobené korónou se projevuje v pásmu od 30 MHz a výše. Anténa byla ve výšce 1,5 m nad zemí.

Měření jsme prováděli nejprve pro vodič o průměru 0,6 mm v horizontální i ve vertikální poloze antény. Pro porovnání opět bylo nejdříve změřeno elektromagnetické pozadí, které je uvedeno na obrázcích (Obr. 7.6) a (Obr. 7.7). Průhyb získané křivky je dán charakteristikou antény.



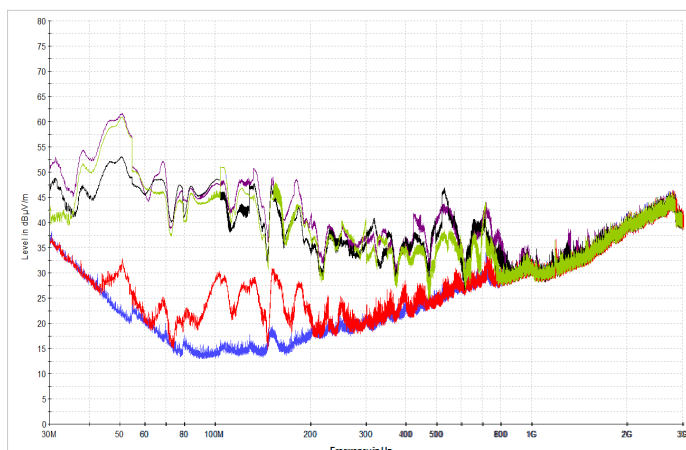
Obr. 7.6 Elektromagnetické pozadí pro model vodič – deska s vodičem o průměru 0,6 mm. Anténa v horizontálním směru



Obr. 7.7 Elektromagnetické pozadí pro model vodič – deska s vodičem o průměru 0,6 mm. Anténa ve vertikálním směru

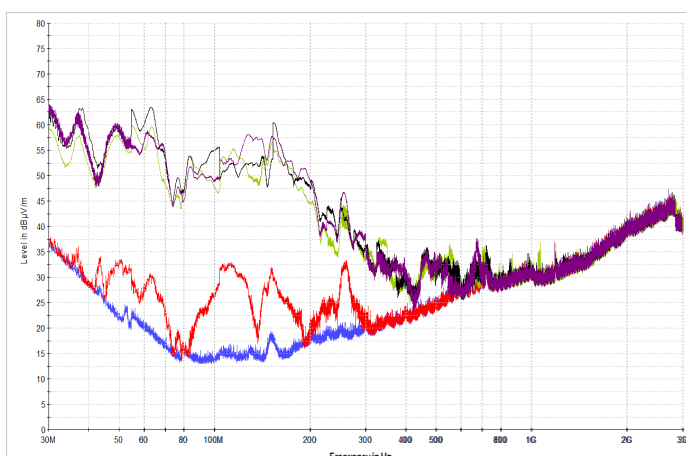
Poté jsme postupně zvyšovali napětí na autotransformátoru až do zapálení korónového výboje. K němuž došlo při 13 kV. Avšak jisté rušení bylo naměřeno i pro menší hodnoty napětí. Je pravděpodobné, že toto rušení je, jak už jsem uvedla, způsobeno autotransformátorem nebo kilovoltmetrem. Jeho intenzita je mnohem menší než intenzita způsobená zapálením koróny.

Jak je vidět na obrázku (Obr. 7.8), rušení způsobené korónou se projevuje v rozmezí od 30 do 800 MHz. Intenzita dosahovala v maximech $61 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ v 50 MHz. Pokud zvýšíme napětí dojde i k růstu intenzity pole. V našem měření jsme byly ve zvyšování napětí omezeni napájecím zdrojem. Proto jsme skončili na hodnotě 20 kV. Maximální hodnota se zvýšila jen na $62 \text{ dB}\mu\text{V/m}$.



Obr. 7.8 Změřené rušení pro model vodič-deska vodič o průměru 0,6 mm. Anténa v horizontální poloze. Modrá křivka – pozadí, červená – při 6 kV, zelená – při 13 kV, černá – při 16 kV a fialová – při 20 kV

Na následujícím obrázku (Obr. 7.9) je zobrazeno porovnání rušení pro napětí 6, 13, 16 a 20 kV, přičemž anténa byla ve vertikální poloze. Pokud porovnáme tyto výsledky s daty získanými pro anténu v horizontálním směru, můžeme vidět nárůst intenzit v rušícím pásmu, avšak konečná maximální hodnota se změnila jen nepatrně. Také došlo k jeho posunu z 50 na 62 MHz.



Obr. 7.9 Změřené rušení pro model vodič-deska vodič o průměru 0,6 mm. Anténa ve vertikální poloze. Modrá křivka – pozadí, červená – při 6 kV, zelená – při 13 kV, černá – při 16 kV a fialová – při 20 kV

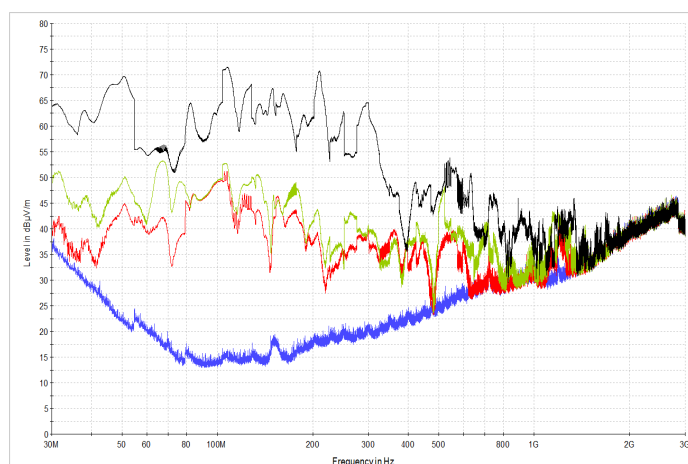
7.3 Měření korónového rušení na modelu vodič-deska pro vodič o průměru 1,6 mm

Na modelu vodič-deska jsme vyměnili vodič o průměru 0,6 za 1,6 mm. Tím, že jsme zvětšili průměr vodiče došlo i ke zvýšení kritického napětí koróny na 20 kV. Opět jsme měřili v horizontálním i ve vertikálním směru. Abychom dosáhli zapalovacího napětí, bylo nutné

mírně přetížít zvyšovací přístrojový transformátor. Proto jsme jako nejvyšší nastavovanou hodnotu zvolili jen 22 kV.

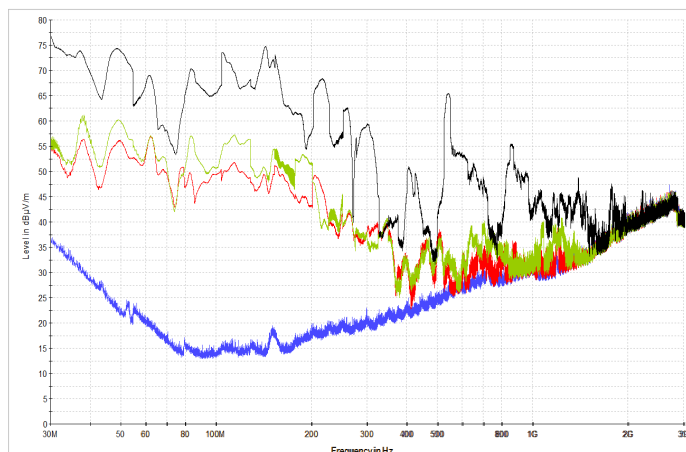
Výsledky pro horizontální polohu antény jsou uvedeny na obrázku (Obr. 7.10). První nastavovanou hodnotu jsme volili přirozeně vyšší než v předchozím případě a to 10 kV. Již pro tuto hodnotu bylo patrné jisté rušení, které opět připisují autotransformátoru a kilovoltmetru.

Změnou oproti předchozímu měření je rozšíření pásma rušení, které jsme tentokrát zaznamenali až do 1,5 GHz. Také se zvýšila maximální hodnota intenzity rušení a to na 71 dB μ V/m. Tuto hodnotu jsme naměřili ve 103 MHz.



Obr. 7.10 Změřené rušení pro model vodič-deska vodič o průměru 1,6 mm. Anténa v horizontální poloze. Modrá křivka – pozadí, červená – při 10 kV, zelená – při 15 kV a černá – při 22 kV

Po dokončení měření jsme opět změnili polohu antény na vertikální. Obrázek (Obr. 7.11). Výsledky opět ukazují určitý nárůst rušení oproti horizontální poloze. Nejvíce patrné je to pro frekvence od 500 MHz do 1 GHz a v okolí 30 MHz. V této frekvenci také dosahovalo rušení maxima a to 77 dB μ V/m.



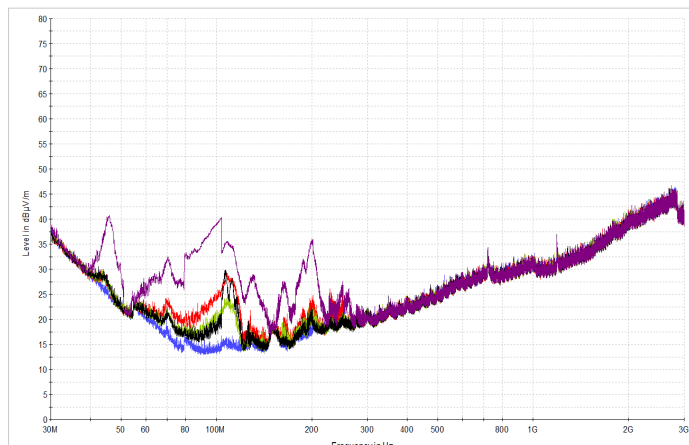
Obr. 7.11 Změřené rušení pro model vodič-deska vodič o průměru 1,6 mm. Anténa ve vertikální poloze. Modrá křivka – pozadí, červená – při 10 kV, zelená – při 15 kV a černá – při 22 kV

7.4 Měření korónového rušení pro model hrot-miska

Pro toto měření jsme model vodič-deska nahradili modelem hrot-miska. Zapojení je schodné s předchozím modelem. Anténa zůstala umístěna ve vzdálenosti 3 metrů od modelu. Misku jsme uzemnili a na hrot přivedli napětí. Hrot jsme vysunuli tak, aby jeho špička byla v rovině s okrajem misky. Intenzitu rušení jsme měřili pouze pro anténu v horizontální poloze. Elektromagnetické pozadí je shodné s předchozím měřením, proto jsme ho již neměřili.

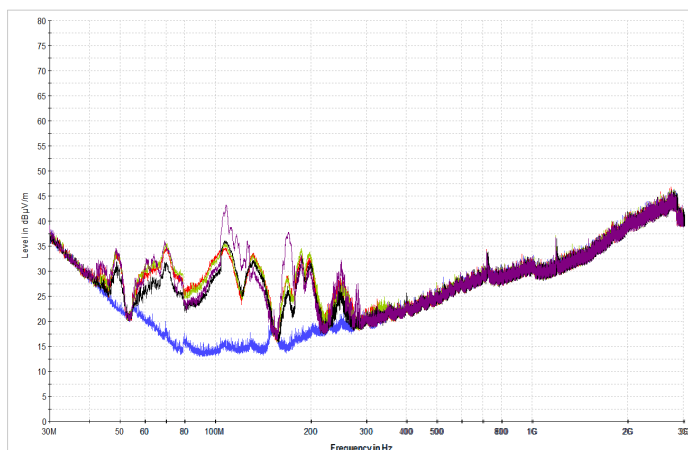
Výsledky jsou zobrazeny na obrázku (Obr. 7.12). Již pro počáteční hodnotu 6 kV bylo zaznamenáno jisté rušení. V blízkosti modelu bylo slyšet praskání. To přisuzuji počátku zapálení koróny. Se zvyšováním napětí byl tento zvuk hlasitější, což znamená, že rostlo i rušení. Tento nárůst však není tak výrazný, jak jsme předpokládali. Tento jev může být způsoben skutečností, že miska částečně bránila šíření rušení do prostoru. Abychom náš předpoklad potvrdili, provedli jsme druhé měření, ve kterém jsme posunuli špičku hrotu do výšky 1 cm od okraje misky.

Rušení se projevovalo v pásmu od 40 do 290 MHz. Pro tento model tedy došlo k značnému zúžení tohoto pásma. Maxima opět dosáhlo okolo 100 MHz, jako v předchozím případě.



Obr. 7.12 Změřené rušení pro model hrot-miska, hrot je v rovině s okrajem misky. Anténa v horizontální poloze. Modrá křivka – pozadí, červená – při 6 kV, zelená – při 10,6 kV, černá – při 12 kV a fialová – při 13 kV

Na obrázku (Obr. 7.13) můžeme vidět výsledky v případě, že jsme špičku hrotu posunuly o 1 cm od okraje misky. Tento krok vedl k tomu, že vzniklé rušení bylo více vyzářované do okolního prostoru. Pokud srovnáme maximální hodnoty pro tyto dva případy získané pro stejné hodnoty napětí, můžeme vidět, že se hodnota zvedla o 5 dB μ V/m. Pro hrot ve vzdálenosti 1 cm od misky jsme zkusili nastavit nejvyšší možné napětí, při němž ještě nedojde k přeskoku. Toto napětí bylo 16,5 kV. Při této hodnotě bylo maximální rušení koróny 43 dB μ V/m.



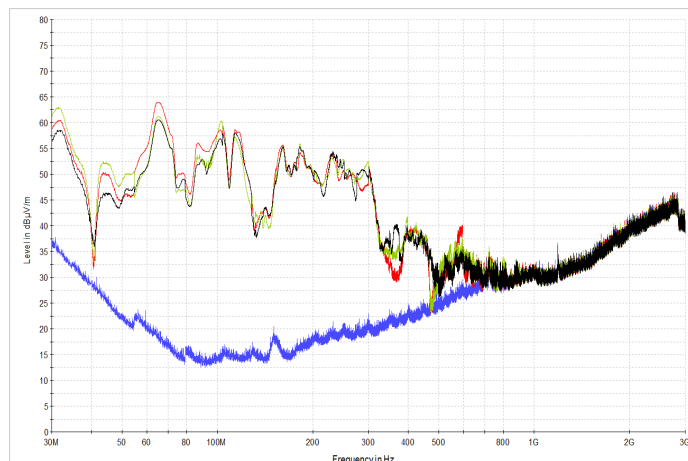
Obr. 7.13 Změřené rušení pro model hrot-miska, hrot 1cm od okraje misky. Anténa v horizontální poloze. Modrá křivka – pozadí, červená – při 6 kV, zelená – při 10 kV, černá – při 12 kV a fialová – při 16,5 kV

7.5 Měření korónového rušení pro model průchodky

Tento model byl opět měření v horizontální a ve vertikální poloze antény. Začínali jsme na napětí 3 kV. Při této hodnotě se žádné klouzavé výboje neobjevily. Jejich výskyt jsme zaznamenali až od 6 kV. Ve 13 kV již byly jasně slyšitelné.

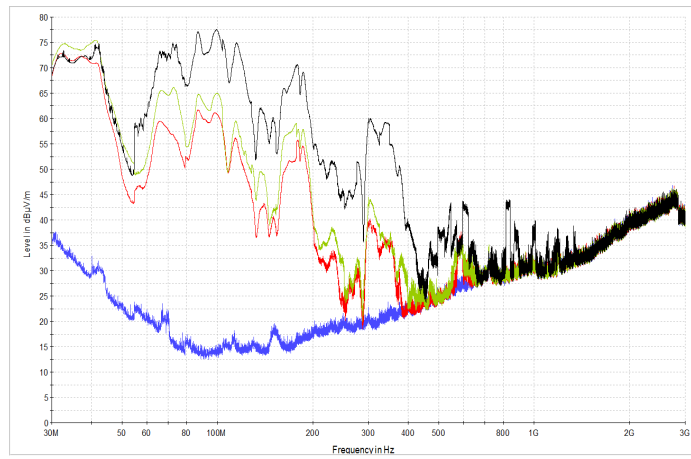
V tomto případě můžeme vidět z obrázku (Obr. 7.14), že se pozadí shoduje s naměřeným rušením při 3 kV. Tento fakt přisuzuji tomu, že jsme k modelu průchodky nepřipojili kilovolt metr. Mohu tudíž tento přístroj označit za zdroj rušení, které jsme pozorovali v předchozích případech.

Klouzavé výboje způsobily rušení v pásmu od 30 do 700 MHz. Intenzita rušení se rapidně zvýšila po dosažení počátečního napětí koróny až na 63 dB μ V/m. Po následujícím zvýšení napětí došlo jen k minimálnímu zvýšení rušení v některých frekvencích i k jeho snížení.



Obr. 7.14 Změřené rušení pro model průchodky. Anténa v horizontální poloze. Modrá křivka – při 3 kV, červená – při 6 kV, zelená – při 10 kV a černá – při 13 kV

Ve vertikální poloze antény bylo změřené rušení vyšší. Již při dosažení kritického napětí přesáhlo rušení hodnotu 72 dB μ V/m. Pokud jsme zvýšili napětí až na 14 kV, kdy byly klouzavé výboje jasně slyšitelné, intenzita rušení překročila 77 dB μ V/m. Také došlo k posunu pásma frekvencí, při nichž se rušení projevuje. A to z 800 MHz na 1,5 GHz.



*Graf 7.15 Změřené rušení pro model průchodky. Anténa ve vertikální poloze.
Modrá křivka – při 3 kV, červená – při 6 kV, zelená – při 10 kV a černá – při 14 kV*

8 Měření detektorem částečných výbojů

Před samotným měřením bylo nutné provést kalibraci zkušebního obvodu. Ta se provádí tak, že se na zkušební obvod kalibrátorem přivede známý náboj. My jsme aplikovali náboj 100 pC.

Pro zobrazení dat získaných detektorem částečných výbojů byl použit program Power Diagnostix – ICMsystem. V tomto programu jsme nastavili čas měření na 1 minutu a pásmo citlivosti na 2 nebo 4 %. Nastavením pásma citlivosti byl potlačen vliv nejmenších výbojů na výsledky měření. Program kromě grafického zobrazení výbojů zaznamenává i jejich polaritu, velikost náboje a střední proudovou hodnotu.

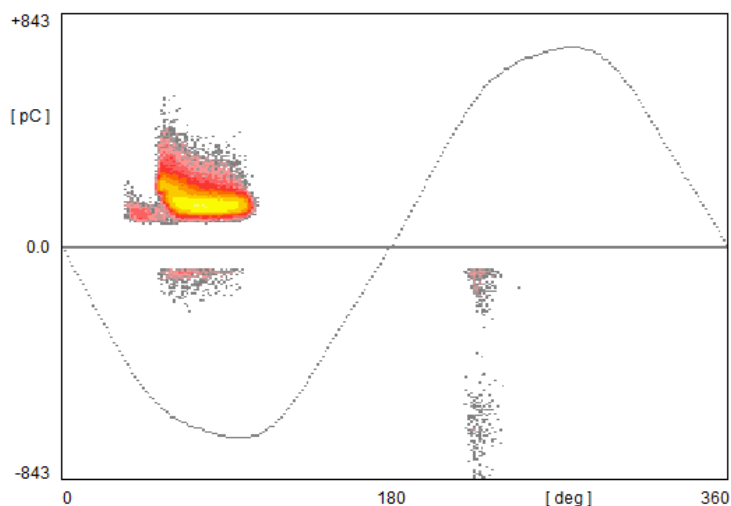
Z obrazce získaného detektorem částečných výbojů můžeme posléze usuzovat na typ výboje. Podle použitých modelů jsme očekávali vznik dvou typů výbojů korónového a klouzavých výbojů na průchodce.

Korónové výboje vytvářejí obrazce v jedné půlperiodě napájecího napětí v okolí maxima. Se zvýšením napětí se zvyšuje počet výbojů, ale velikost zůstává stejná. Při určité velikosti napětí se tyto obrazce začínají objevovat i v druhé půlperiodě a opět v jejím maximu.

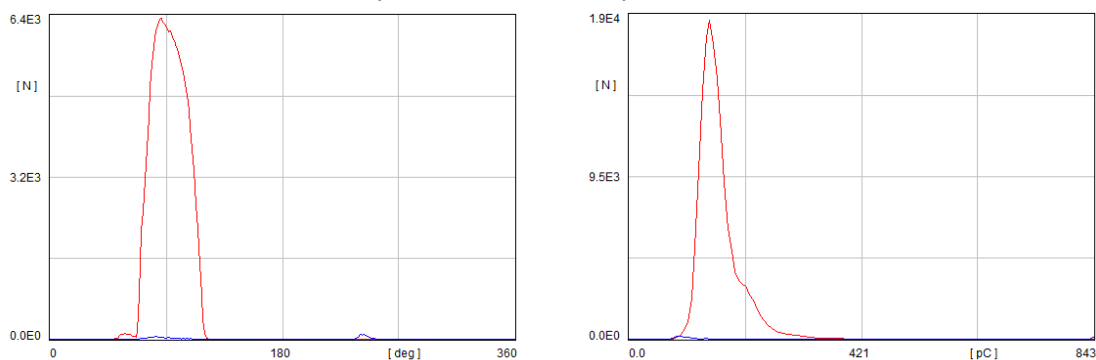
V případě klouzavých výbojů se obrazce objevují v různých polaritách, ale velikost pulsů je přibližně stejná. Na obrazci se to projevuje tak, že výboje tvoří rovnou čáru. [15] [16] [21]

8.1 Měření detektorem částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 0,6 mm

Záznamy na detektoru částečných výbojů jsme pořizovali pro stejná napětí jako v případě měření rušení. Pro napětí 6 a 10 kV nebyly zaznamenány žádné výboje. Koróna zapálila při 13 kV. Záznam z detektoru pro tuto hodnotu napětí je uveden na obrázku (Obr. 8.1). Můžeme vidět, že podle umístění obrazce v okolí maxima v jedné půlperiodě napětí se opravdu jedná o korónový výboj. Převažují kladné náboje. Největší počet výbojů vznikl na 86°. Maximální velikost náboje dosahovala 334,4 pC.

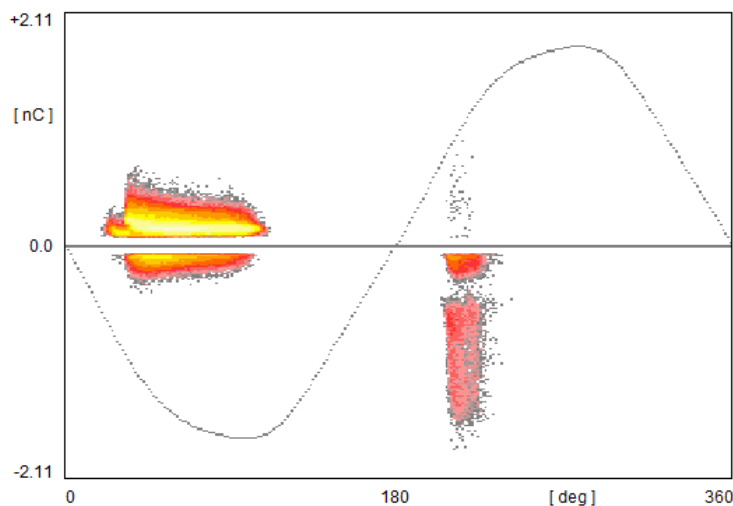


Obr. 8.1 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 0,6 mm. Napětí 13 kV

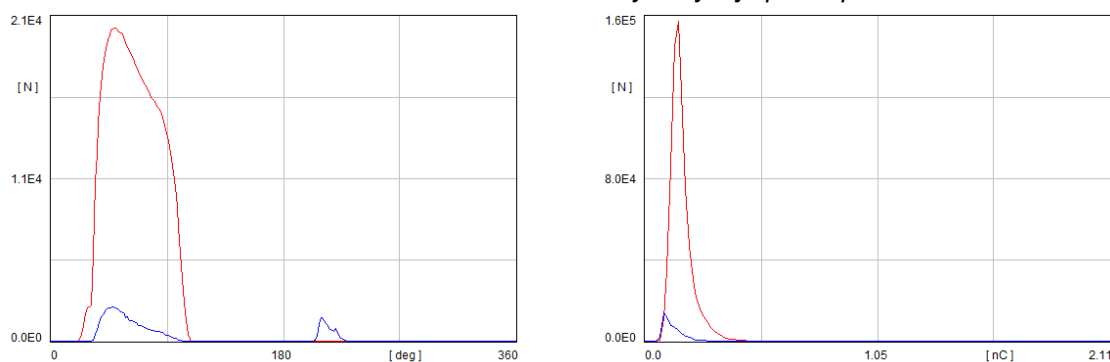


Obr. 8.2 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Když jsme zvýšili napájecí napětí na 16 kV, zvýšil se i počet kladných a záporných výbojů. Na záznamu z detektoru se to projeví rozšířením žlutočerveného obrazce v okolí maxima napětí. Náboj kladných výbojů v maximu dosáhl hodnoty 0,4 nC a záporných 0,3 nC.

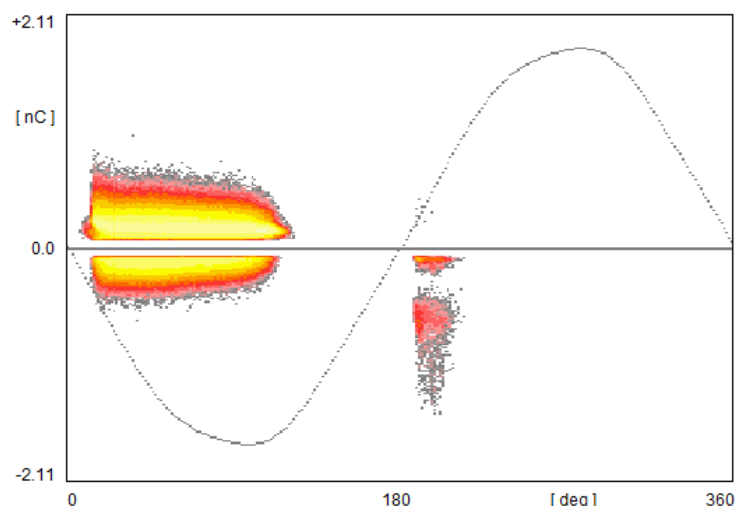


Obr. 8.3 Záznam z detektoru částečných výbojů pro napětí 16 kV

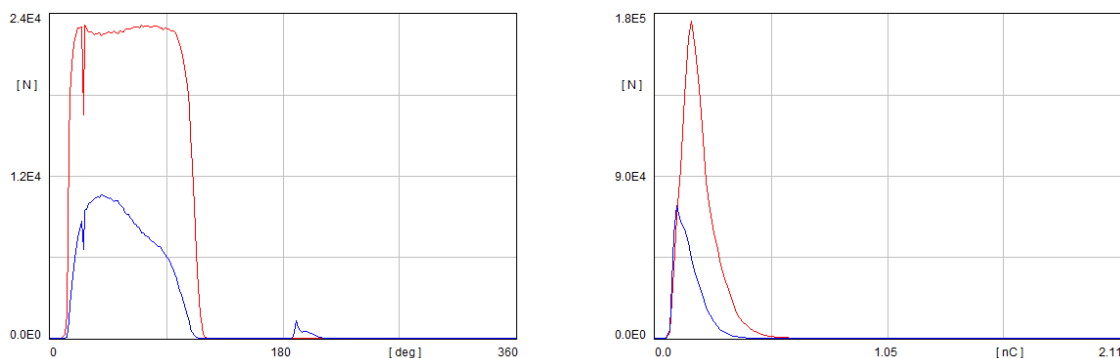


Obr. 8.4 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Pokračovali jsme se zvyšováním napětí až na hodnotu 25 kV. Podle předpokladu velikost náboje se již nezvyšovala. Z obrázků (Obr. 8.5) a (Obr. 8.6) je patrný pouze nárůst počtu výbojů. Kladných výbojů jsme zaznamenali přes 1,5 milionů a záporných přes 0,5 milionu.



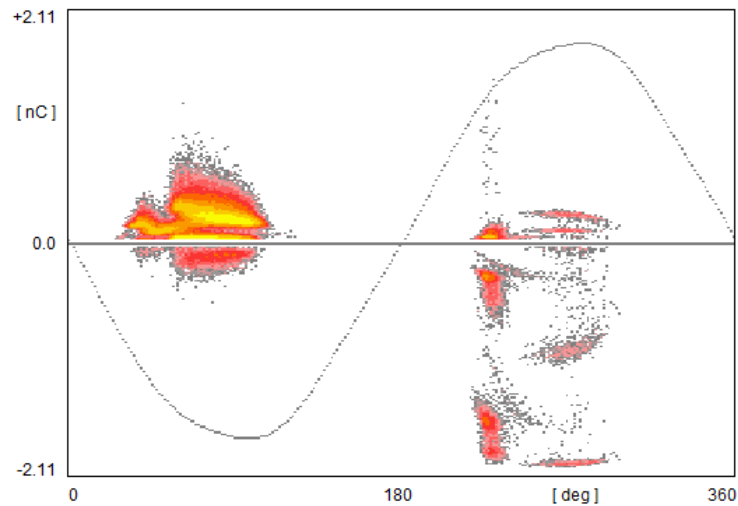
Obr. 8.5 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 0,6 mm. Napětí 25 kV



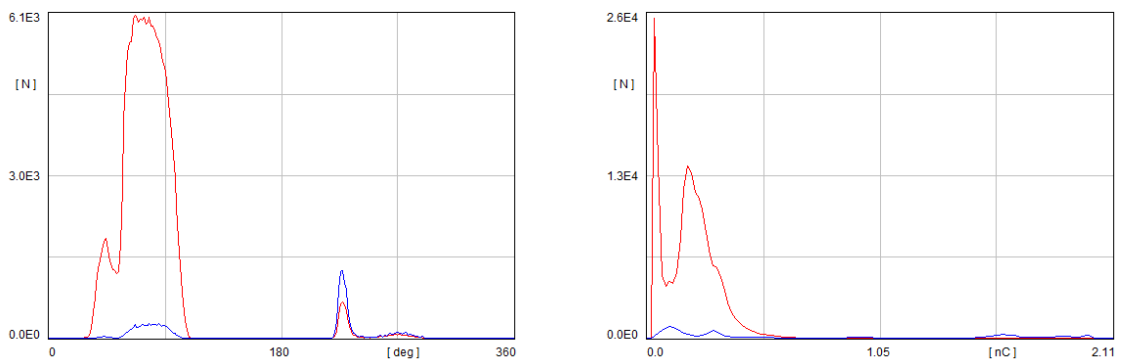
Obr. 8.6 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

8.2 Měření detektorem částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 1,6 mm

Vodič o průměru 0,6 mm jsme opět vyměnili za vodič s větším průměrem. První výboje jsme opět zaznamenali až po zapálení koróny, tedy až při 22 kV. Při tomto napětí jsme se objevily výboje v obou půlperiodách napětí. V první půlperiodě převládají kladné výboje a v druhé s mnohem menší četností záporné. Nejvyšší hodnota náboje pro kladné výboje byla 0,6 nC a pro záporné 0,5 nC.

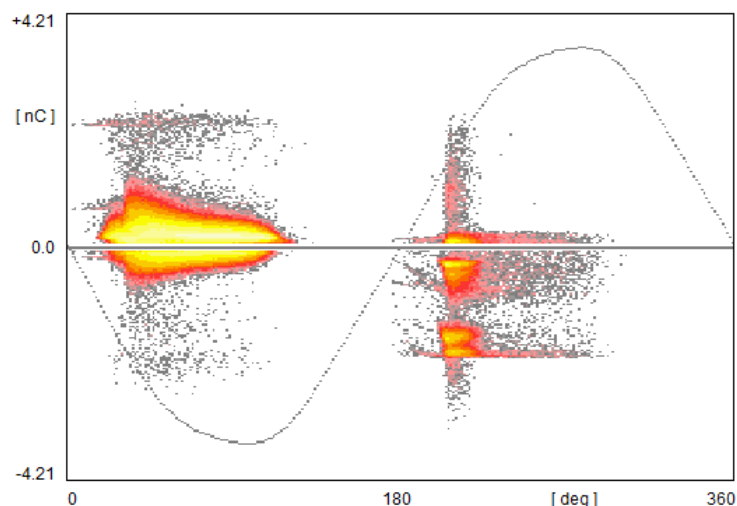


Obr. 8.7 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 1,6 mm. Napětí 22 kV

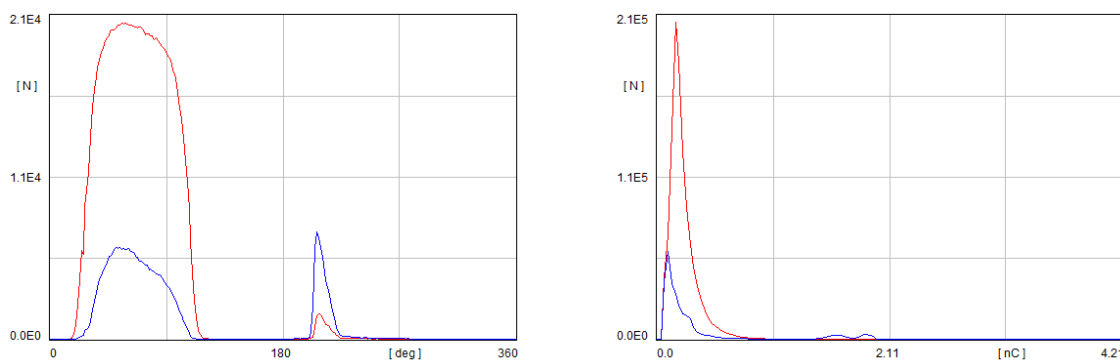


Obr. 8.8 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Použitý zdroj nám umožnil další zvýšení napětí. Proto jsme nastavili hodnotu 30 kV. Jako v předchozím případě lze na následujících obrázcích pozorovat zvýšení počtu výbojů.



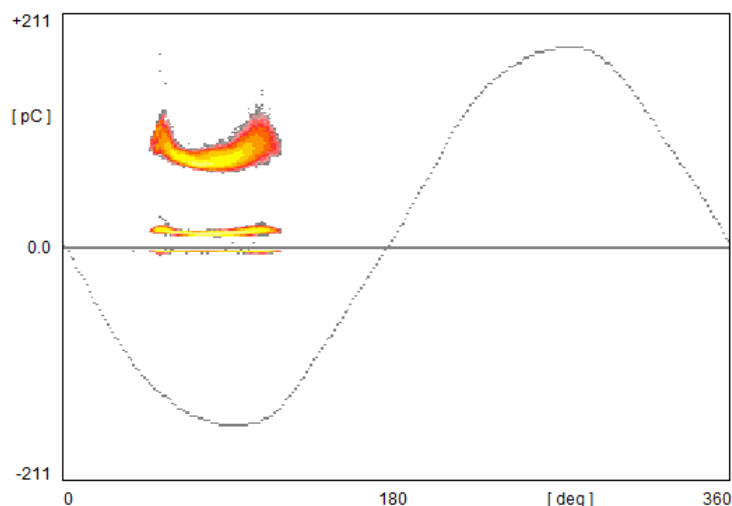
Obr. 8.9 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model vodič-deska s vodičem o průměru 1,6 mm. Napětí 30 kV



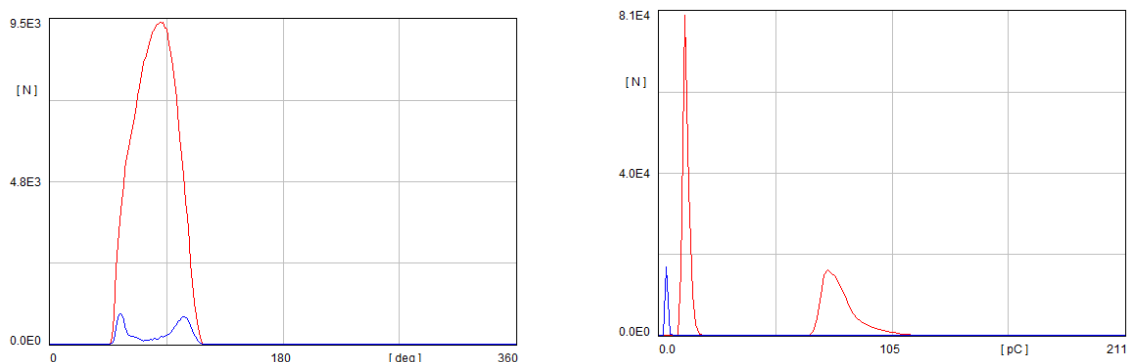
Obr. 8.10 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

8.3 Měření detektorem částečných výbojů pro model hrot-miska

Hrot jsme nastavili do vzdálenosti 1 cm od okraje misky a zapojili obdobně jako model vodič-deska. Zápalné napětí u tohoto modelu bylo 6 kV. Již při této hodnotě detektor zaznamenal výboje v první půlperiodě napětí. Stejně jako u předchozích modelů jsou tyto výboje kladné. Vznikali opět v okolí maxima na 86° . U záporných výbojů naopak v okolí maxima napětí došlo k poklesu jejich četnosti. Maximálního výskytu dosahovali na 53 a 104° . Došlo i ke změně velikosti náboje. U kladných výbojů byla maximální velikost $107,8$ pC a u záporných $5,3$ pC.

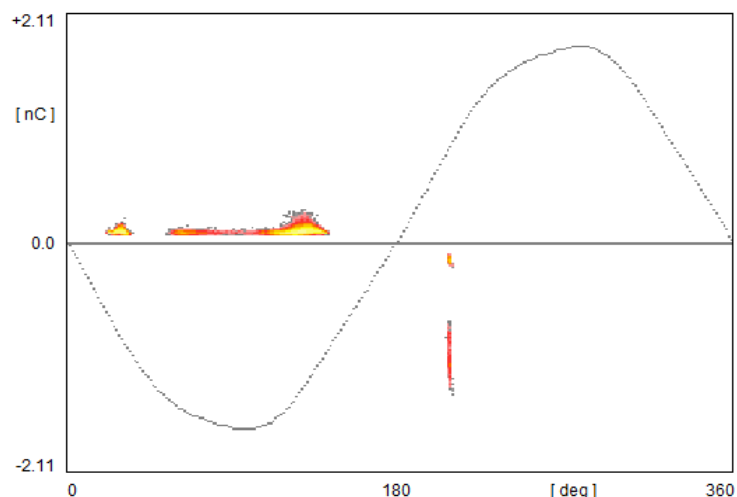


Obr. 8.11 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model hrot-miska při napětí 6 kV

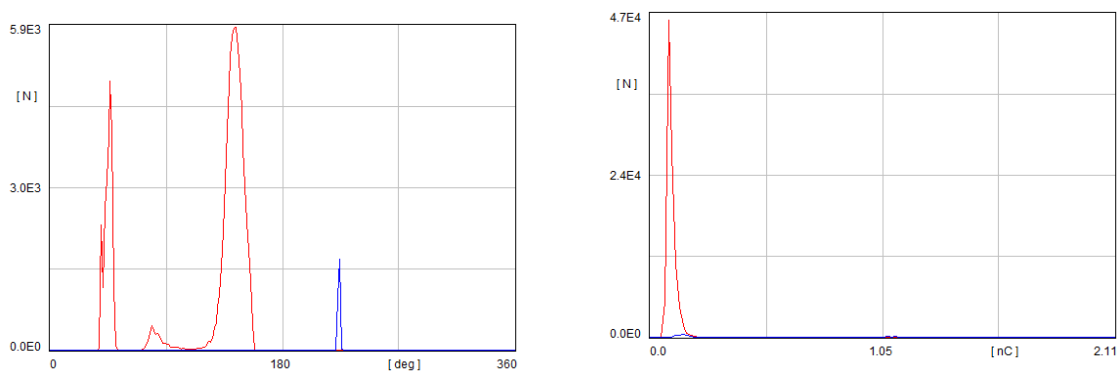


Obr. 8.12 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Zvýšili jsme napájecí napětí na 10 kV. Z obrázku (Obr. 8.13) můžeme vidět, že největší výskyt kladných výbojů přesunul na obě strany od maxima napětí a to na 47 a 144°. Záporné výboje se také přesunuly do opačné půlperrody napětí. V první půlperiodě se již žádné nevyskytují. Velikost náboje kladných výbojů vzrostla na 0,1 nC. Detektor zaznamenal 95 862 kladných výbojů a jen 2630 záporných.

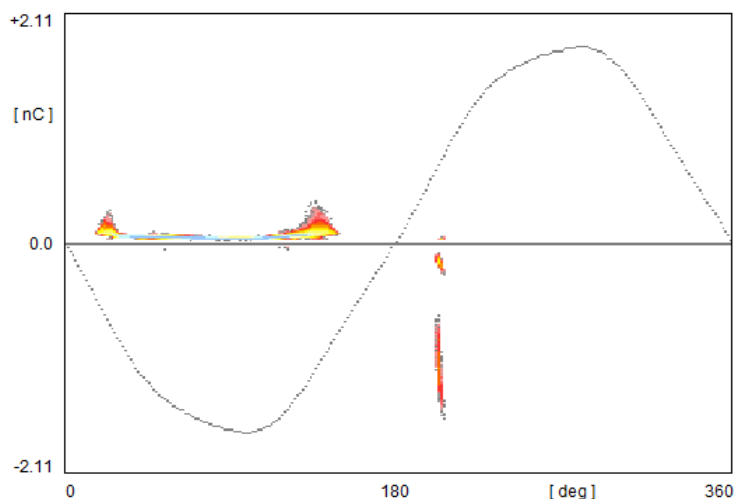


Obr. 8.13 Záznam z detektoru částicných výbojů pro model hrot-miska při napětí 10 kV

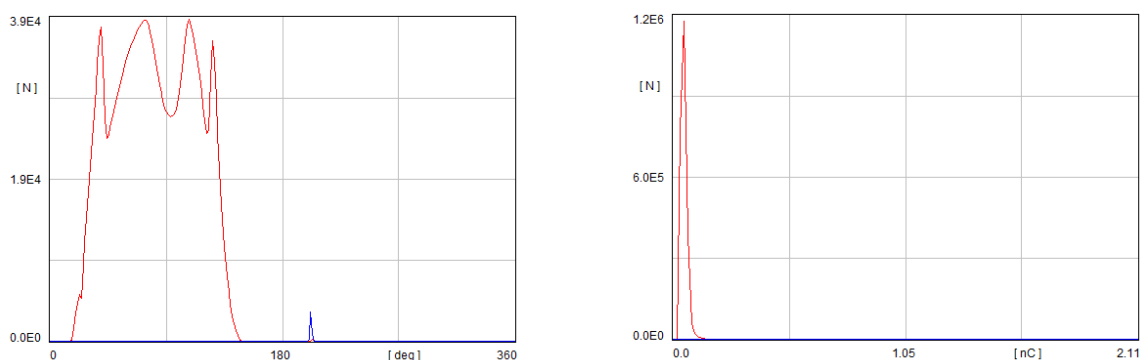


Obr. 8.14 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Po dalším zvýšení napájecího napětí jsme pozorovali opětovný nárůst výbojové činnosti v okolí maxima. Extrémní nárůst se odehrál i v počtu výbojů. Počet kladných výbojů překročil 2,4 milionu a počet záporných vzrostl na dvojnásobek. Velikost náboje zůstala stejná.

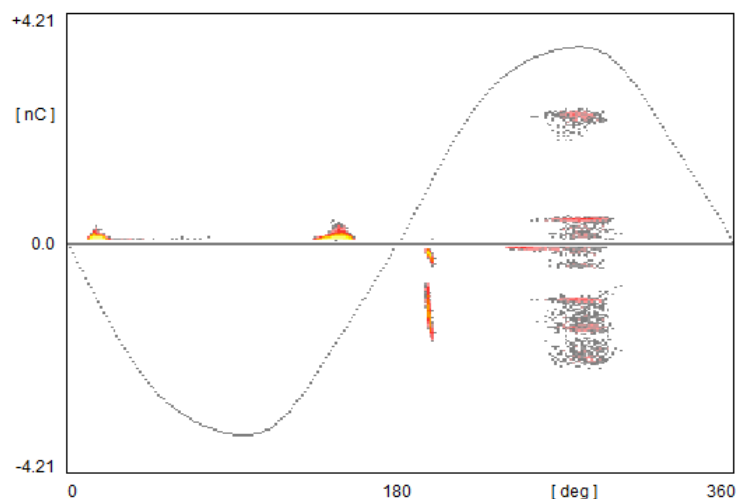


Obr. 8.15 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model hrot-miska při napětí 12 kV

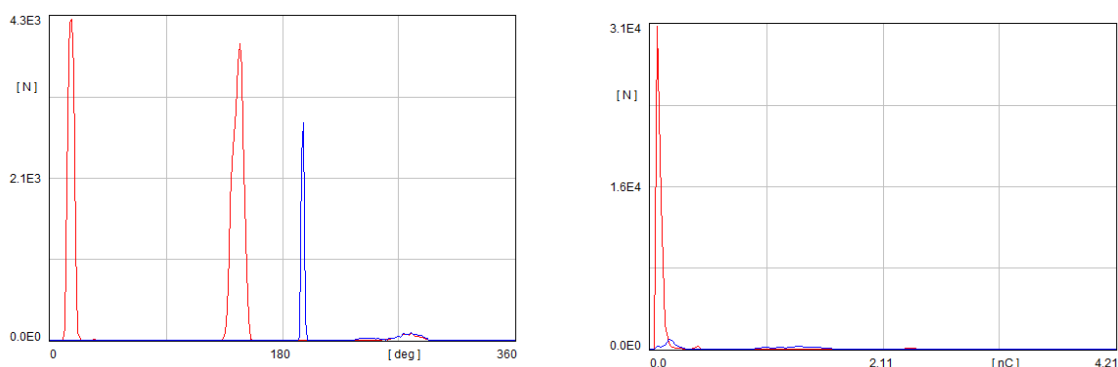


Obr. 8.16 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Napájecí napětí jsme opět zvýšili. Z obrázku (Obr. 8.17) je patrný pokles počtu kladných výbojů. Ohniska s nejvyšším výskytem se opět vzdálili od maxima napájecího napětí. U záporných výbojů mělo zvýšení napětí opačný účinek. Jejich počet vzrostl na 7241. Nejvyšší počet se vyskytuje na stejném místě jako pro nižší napětí, ale pár se objevil i u maxima 2. půlperrody napájecího napětí.



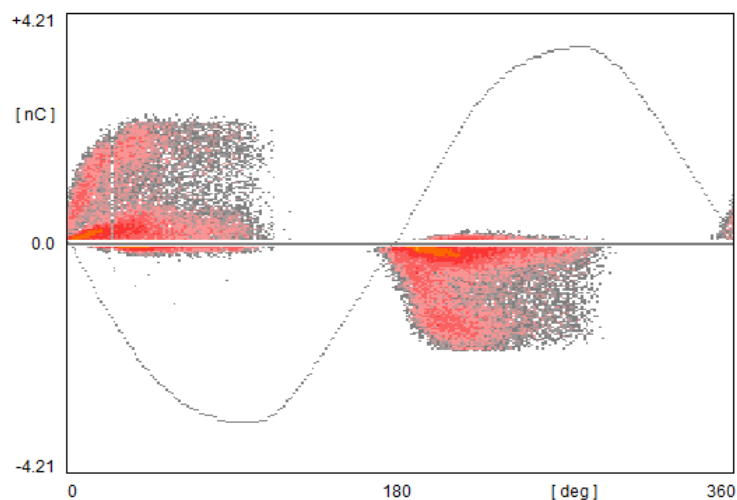
Obr. 8.17 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model hrot-miska při napětí 16,5 kV



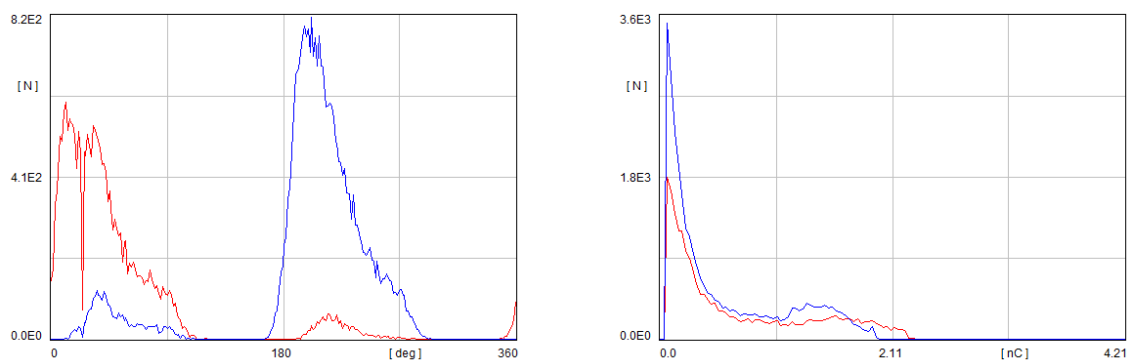
Obr. 8.18 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

8.4 Měření detektorem částečných výbojů pro model průchodky

Klouzavé výboje na modelu průchodky vznikly při napětí 6 kV. Výboje se projeví v obou polaritách napájecího napětí. V první půlperiodě napětí převládají kladné výboje. Nejvíce se vyskytují na 12°. V druhé půlperiodě je naopak vyšší výskyt záporných výbojů. Ty se objevují především na 202°. Celkově při klouzavých výbojích svým počtem převládají záporné výboje, kterých je téměř o 10 000 více než-li kladných. Hodnota náboje kladných výbojů v maximech dosahovala 2,4 nC a záporných 2 nC. Na obrázku (Obr. 8.19) můžeme vidět obraz klouzavých výbojů získaný detektorem částečných výbojů. Typické pro tento typ výbojů je ostré ohraničení výbojových mraků.

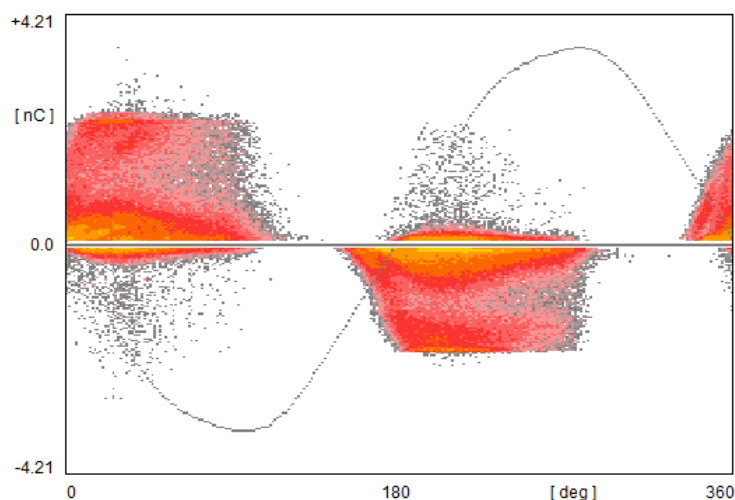


Obr. 8.19 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model průchodky při napětí 6 kV

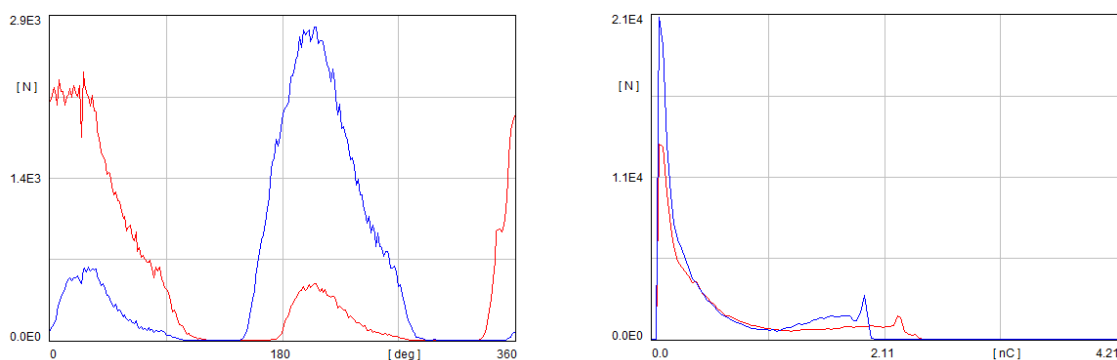


Obr. 8.20 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Zvýšení napětí s sebou podle očekávání přineslo i zvýšení počtu výbojů obou polarit. Stejně jako při 6 kV je větší počet záporných výbojů, které se nejvíce vyskytují v druhé půlperiodě napájecího napětí. Nejvyšší velikost náboje zůstala pro obě polarity výbojů shodná s napětím 6 kV.

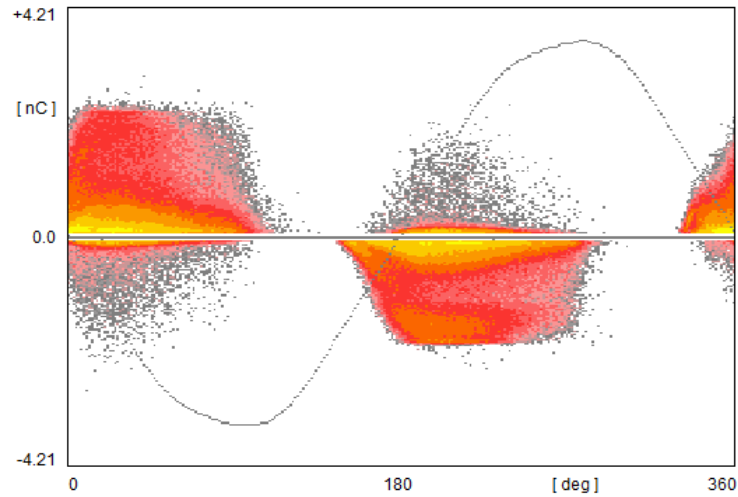


Obr. 8.21 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model průchodky při napětí 10 kV

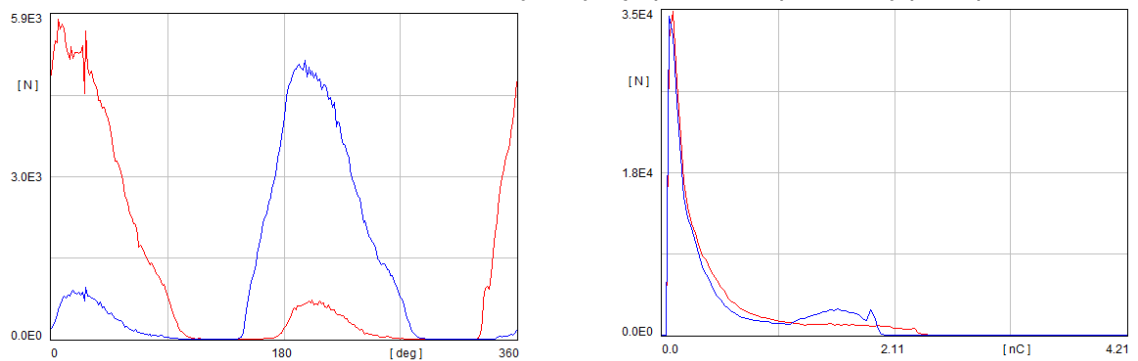


Obr. 8.22 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

Když jsme opět zvýšili napětí na 13 kV, počet kladných výbojů byl vyšší než záporných. Nejedná se však o nijak extrémní rozdíl. Řádově jde o desítky tisíc výbojů. Nejvyšší počet výbojů se, jako v případě korónového výboje, vyskytuje v okolí maximálního napětí. Velikost náboje výbojů 2,4 nC je shodná s předchozím měřením.



Obr. 8.23 Záznam z detektoru částečných výbojů pro model průchodky při napětí 13 kV



Obr. 8.24 Závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na stupních (vlevo), závislost počtu kladných (červená křivka) a záporných (modrá křivka) výbojů na velikosti náboje (vpravo)

9 Měření proudu korónou při stejnosměrném napětí

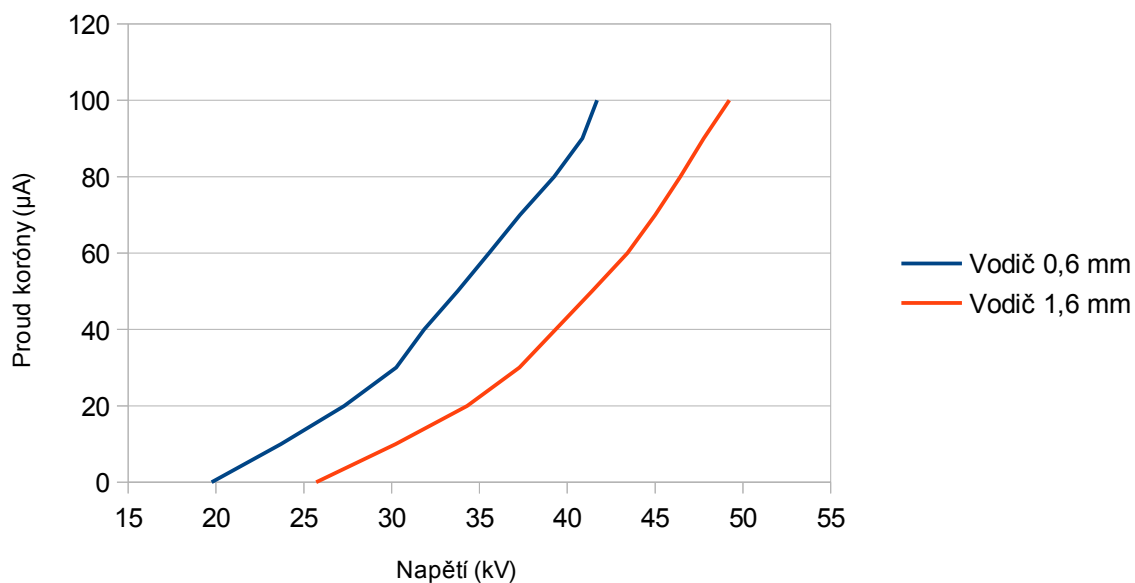
Jak už jsem zmínila v kapitole 6.2, toto měření jsme prováděli jen pro dva modely a to vodič-deska a hrot-miska. Měření probíhalo tak, že jsme postupně zvyšovali napájecí napětí dokud se ručička mikroampérmetru nevychýlila z nulové polohy. Napětí změřené při této výchylce se označuje za počáteční napětí koróny. Napětí jsme pak dále zvyšovali až do plné výchylky mikroampérmetru. Měření bylo pro každý model několikrát opakováno. Hodnoty uvedené v tabulkách (Tab. 9.1) a (Tab. 9.2) jsou průměrem z měření.

Tab. 9.1 Změřené hodnoty proudu korónou pro model vodič-deska

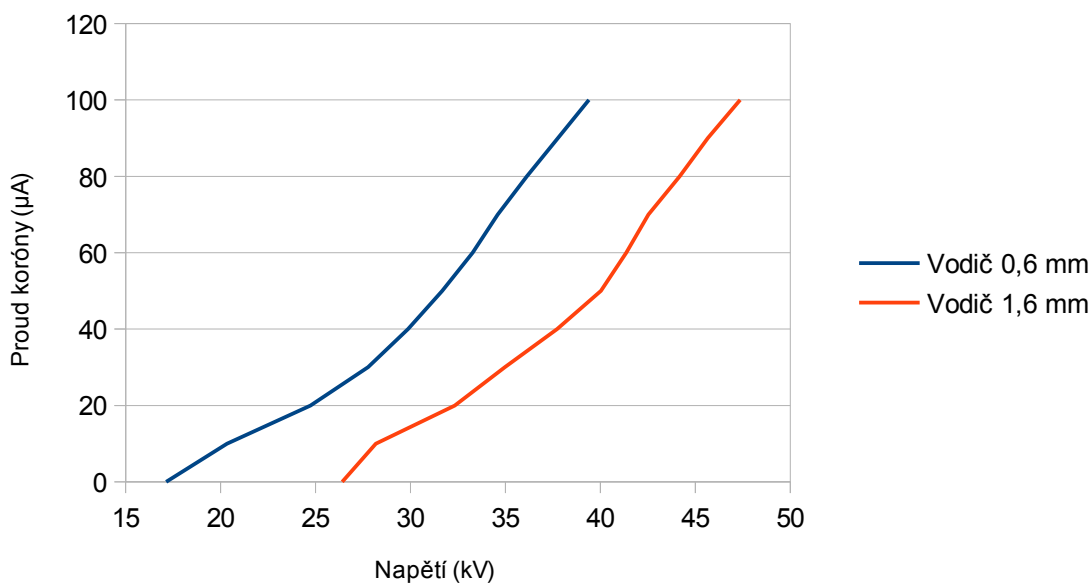
Proud koróny (μA)	Vodič 0,6 mm		Vodič 1,6 mm	
	Kladné napětí (kV)	Záporné napětí (kV)	Kladné napětí (kV)	Záporné napětí (kV)
Zapalovací napětí	19,75	17,13	25,70	26,40
10	23,70	20,33	30,23	28,17
20	27,30	24,73	34,30	32,33
30	30,25	27,77	37,27	34,97
40	31,85	29,87	39,33	37,73
50	33,75	31,67	41,40	40,03
60	35,55	33,27	43,43	41,37
70	37,30	34,60	45,00	42,53
80	39,25	36,13	46,43	44,17
90	40,85	37,77	47,77	45,67
100	41,70	39,40	49,23	47,37

Při kladné polaritě napájecího napětí byla koróna mnohem hlasitější než při záporné. Během měření jsme zaznamenali několik výbojů, které způsobily skokový nárůst proudu. Zapalovací napětí pro zápornou polaritu je nižší než pro kladnou.

Prokázali jsme, že pokud zvětšíme průměr vodiče, zvýší se tím i hodnota zapalovacího napětí. Jak už jsem uvedla v kapitole 2.1, této skutečnosti se využívá při návrhu dálkových vedeních. Rozdíly v napětí pro vodiče 0,6 a 1,6 mm, které jsme na modelu používali, jsou graficky znázorněny na obrázcích (Obr. 9.1) a (Obr. 9.2). Můžeme vidět, že podstatnější rozdíl ve velikostech napětí jsou pro zápornou polaritu napětí.



Obr. 9.1 Volt-ampérová charakteristika pro vodič 0,6 a 1,6 mm při kladném napájecím napětí



Obr. 9.2 Volt-ampérová charakteristika pro vodič 0,6 a 1,6 mm při záporném napájecím napětí

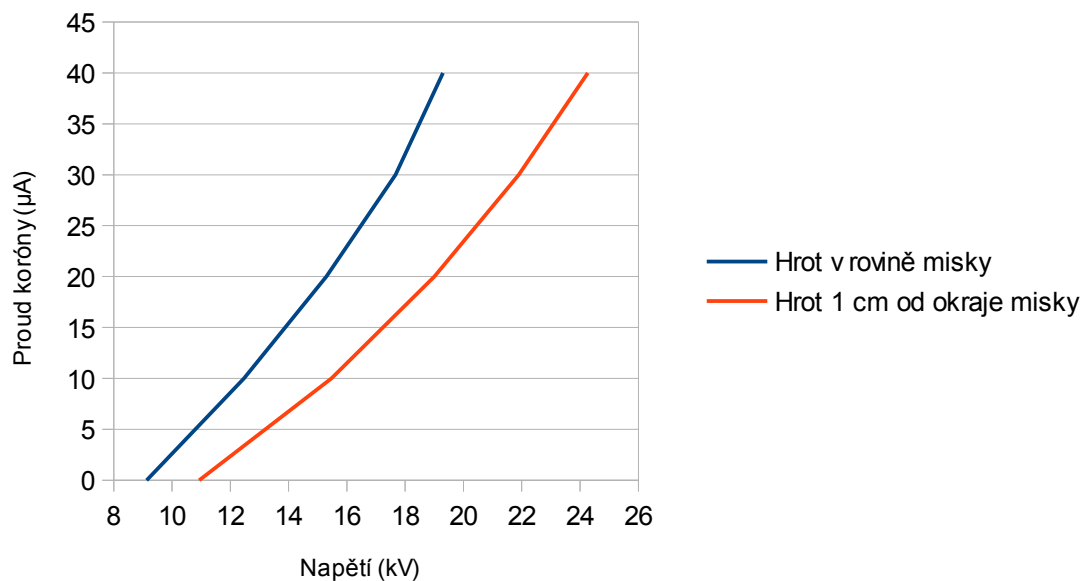
Tab. 9.2 Změřené hodnoty proudu korónou pro model hrot-miska

Proud koróny (μA)	Hrot v rovině misky		Hrot 1 cm od okraje misky	
	Kladné napětí (kV)	Záporné napětí (kV)	Kladné napětí (kV)	Záporné napětí (kV)
Zapalovací napětí	9,13	7,43	10,93	9,87
10	12,47	9,63	15,47	12,60
20	15,30	11,60	19,00	14,90
30	17,67	13,40	21,90	16,97
40	19,30	14,73	24,27	18,80
50	-	15,97	-	20,20
60	-	16,97	-	21,57
70	-	17,93	-	22,73
80	-	18,90	-	23,93
90	-	19,77	-	24,93
100	-	20,60	-	25,77

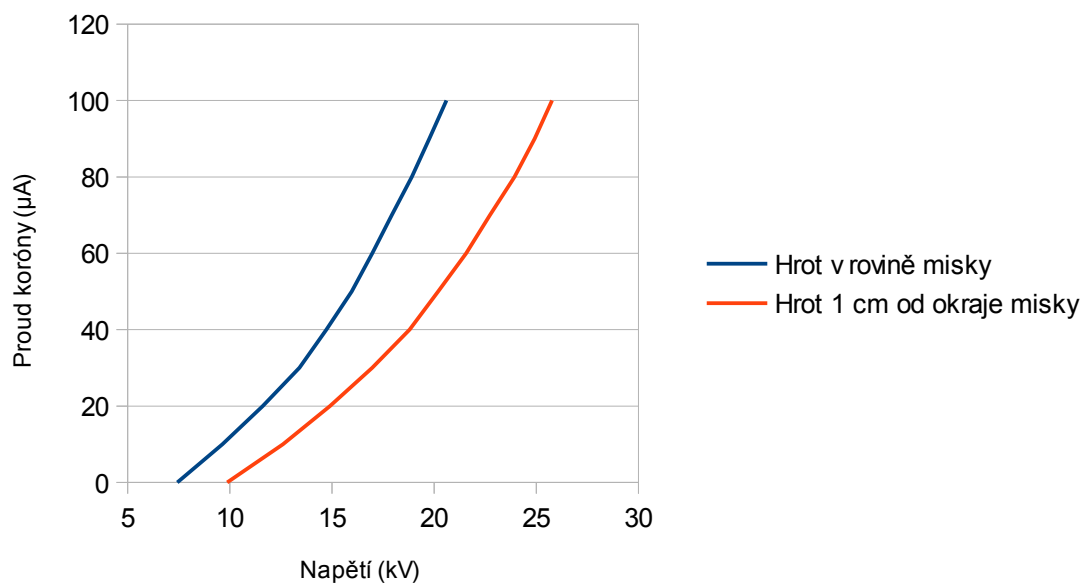
Měření proudu koróny na modelu hrot-miska jsme prováděli pro dvě vzdálenosti hrotu od misky. Nejprve jsme hrot umístili, tak aby byl jeho konec v rovině misky. V průběhu měření proudu jsme nezaznamenali takovou nestálost výboje jako u předchozího modelu. Tento fakt je dán přesnou geometrií tohoto uspořádání.

Pro kladnou polaritu napájecího napětí jsme proud měřili jen do hodnoty 40 μA . U vyšších hodnot napětí vznikaly výboje, které způsobovali proudy větší, než byl schopen měřit námi používaný mikroampérmetr. Tento fakt může být zapříčiněn tím, že v případě kladného hrotu je elektrická pevnost vzduchu nižší. Pro záporné napětí jsme tento problém nezaznamenali.

Když jsme v druhém měření oddálili hrot o 1cm od okraje misky, zvětšili jsme tím i elektrickou pevnost, proto začala korona vznikat až při vyšší hodnotě zapalovacího napětí. Výsledky jsou opět graficky znázorněny na obrázcích (Obr. 9.3) a (Obr. 9.4).



Obr. 9.3 Volt-ampérová charakteristika pro hrot v rovině a 1cm od okraje misky při kladném napájecím napětí



Obr. 9.4 Volt-ampérová charakteristika pro hrot v rovině a 1cm od okraje misky při záporném napájecím napětí

10 Závěr

Ve své práci jsem se zabývala účinky koróny na materiály vysokonapětových zařízení a vlivem elektromagnetického pole, které při tomto výboji vzniká, na rádiové a televizní vysílání. Zkoumala jsem intenzitu korónového rušení a proud koróny, který způsobuje ztráty na vedeních velmi vysokého napětí. Různé měřicí metody jsem aplikovala na modely vodič - deska, hrot - miska a model průchodky.

První metodou bylo měření korónového rušení, které se šíří do okolního prostoru. K jeho detekci jsem použila logaritmicko-periodickou anténu. Po sérii pokusů, během nichž jsem zjišťovala frekvenční pásmo korónového rušení, jsme dospěla k poznatku, že tento typ výboje působí v pásmu od 30 MHz do 1 GHz pro model vodič-deska. Od 40 do 290 MHz u modelu hrot-miska. Na průchodce vznikají klouzavé výboje, které způsobují rovněž rušení a to v rozmezí od 30 do 800 MHz. Intenzita rušení u těchto modelů dosahovala v maximech 71 dB μ V/m pro vodič-deska, 43 dB μ V/m u modelu hrot-miska a 77 dB μ V/m pro průchodky.

V České republice je v současnosti digitální televizní signál vysílán v frekvenčním rozsahu 177,5 – 858 MHz a rádiové vysílání v rozsahu 87,8 – 1466,656 MHz. Ze změřených frekvenčních pásem a velikostí intenzit rušení lze usoudit, že rušení způsobené korónovým výbojem může negativně ovlivňovat přenos televizního a rádiového vysílání v blízkosti vedení velmi vysokého napětí.

V dalším měření jsem detektorem částečných výbojů sledovala výbojovou činnost. S pomocí této metody bylo možno určit přesný druh výboje a hodnotu zápalného napětí pro testované modely. Z grafického programu použitého k zobrazení dat z detektoru bylo možné vyčíst i četnost výbojů v průběhu napájecího napětí a jejich velikost. Ze získaných dat je patrné, že se zvyšujícím se napětím rostl pouze počet výbojů jejich velikost zůstala od určité hodnoty konstantní.

Poslední metodou, kterou jsem vyzkoušela, bylo měření ztrát korónou. V tomto případě byl použit stejnosměrný zdroj napájení. Modely vodič-deska a hrot-miska byly testovány kladnou i zápornou polaritou napětí. Výsledky prokázaly, že pokud zvětšíme průměr vodiče zvýší se i kritické napětí koróny. Proto je možné do jisté míry omezit vznik koróny nebo ovlivnit velikost korónových ztrát na vedeních velmi vysokého napětí volbou vhodného průměru vodičů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

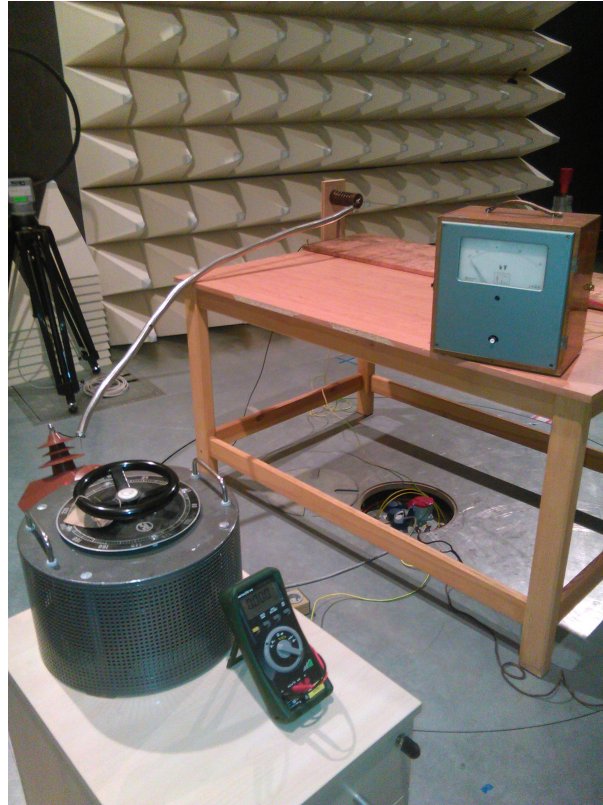
- [1] Elektrická vedenia. *Katedra výkonových elektrotechnických systémov*. [online]. [2007]. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: http://kves.unita.sk/kvesnew/dokumenty/elektroenergetika1/ELEN2007/ENERGETIKA/ELEN-5_2.htm
- [2] Encyklopedie energie. Odprašování odpadních plynů. *Index of /uchop/velebudice/ovzdusi*. [online]. 24.9.2007 [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/uchop/velebudice/ovzdusi/odprasovani.htm>
- [3] Encyklopedie energie. Snižování tuhých emisí. *Encyklopedie energie*. [online]. © 2014 [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.5.4
- [4] ExhibitI Anticipated noise and interference with communication signals. *Rosemont 138 kV Transmission Line Project*. [online]. November 2011 [cit. 13.3.2015]. Dostupné z: <https://www.tep.com/doc/projects/rosemont/ExhibitI.pdf>
- [5] FABŠIC, Jiří. *Částečné výboje v plynném izolantu*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Petr MARTÍNEK.
- [6] CHANG, J.-S., P.A. LAWLESS a T. YAMAMOTO. Corona discharge processes. *IEEE Transactions on Plasma Science* [online]. 1991, vol. 19, issue 6, s. 1152-1166 [cit. 9.9.2014]. DOI: 10.1109/27.125038.
- [7] Infračervená spektroskopie a její techniky. *Encyklopedie energetiky*. [online]. © 2007. [cit. 29.8.2014]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/Ins/Lverze/Infrared.htm>
- [8] Koronová denní kamera DayDorII z produkce OFIL Ltd. *DayCor-corona camera and UV inspection in Czech*. [online]. © 1998 - 2007. [cit. 29.9.2014]. Dostupné z: <http://daycor.com/language/czechs.htm>
- [9] LINDNER, M. Daylight corona discharge imager. In: *11th International Symposium on High-Voltage Engineering (ISH 99)* [online]. 1999 [cit. 24.9.2014]. DOI: 10.1049/cp:19990864.
- [10] MA, Bin. *Effects of corona and ozone exposure on properties of polymeric materials for high voltage outdoor applications*. Göteborg: Chalmers University of Technology, 2011. ISBN 9789173855655.
- [11] MORENO, V.M. a R.S. GORUR. Effect of long-term corona on non-ceramic outdoor insulator housing materials. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* [online]. 2001, vol. 8, issue 1, s. 117-128 [cit. 24.2.2015]. DOI: 10.1109/94.910434.

- [12] PATTANADECH, N., S. POTIVETKUL a P. YUTTAGOWITH. Corona Phenomena of Various High Voltage Shielding Types. In: *2006 International Conference on Power System Technology* [online]. 2006 [cit. 9.9.2014]. DOI: 10.1109/icpst.2006.321552.
- [13] PROCHÁZKA, Petr. *Protikorónová ochrana napájecího vodiče v laboratoři VN*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Adam KYSELA.
- [14] PRSKAVEC, Ladislav. *Částečné výboje ve strojích točivých*. Výbojová činnost v zařízeních vn a vvn. Praha, 2002. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Karel ZÁLIŠ.
- [15] Předmět TVN. 8. Částečné výboje. *Oddělení elektrických přístrojů a techniky vysokých napětí – EMC*. [online]. 2007 [cit. 11.3.2015]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~laurenc/tvn.php>
- [16] RACH, František. *Charakteristická fázová rozložení výbojové činnosti na modelových vzorcích mikrodutin v dielektriku*. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Petr MARTÍNEK.
- [17] SLUKA, Vít. *Vysokofrekvenční rušivé signály v problematice EMC*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Eva MÜLLEROVÁ.
- [18] ŠEBEK, Radoslav. *Elektromagnetické emise korónového výboje*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Adam KYSELA.
- [19] VEVERKA, Antonín. *Technika vysokých napětí*. 3. přepracované vyd. Praha: SNTL spolu s n. p. Alfa, 1982. 304 s.
- [20] Xerografie. *České vysoké učení technické v Praze*. [online]. Duben 2011 [cit. 28.9.2014]. Dostupné z: <http://geo3.fsv.cvut.cz/vyuka/kopr/sp/2011/glockver/index.htm>
- [21] Zařízení laboratoři VN. *Oddělení elektrických přístrojů a techniky vysokých napětí – zařízení*. [online]. [2007] [cit. 11.3.2015]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~laurenc/zarizeni-vn.php>
- [22] ŽEMLIČKA, Michal. *Problematika koróny*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Adam KYSELA.

Přílohy

Příloha A

Snímky pořízené při měření korónového rušení



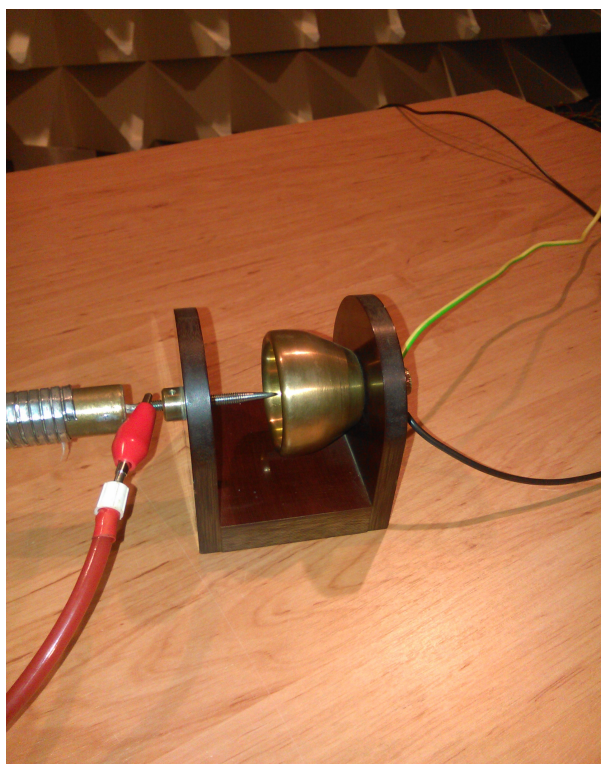
Obr. A.1 Měřicí sestava pro měření korónového rušení. V levém rohu autotransfornátor, za ním přístrojový transformátor napětí a na pracovním stole kilovoltmetr.



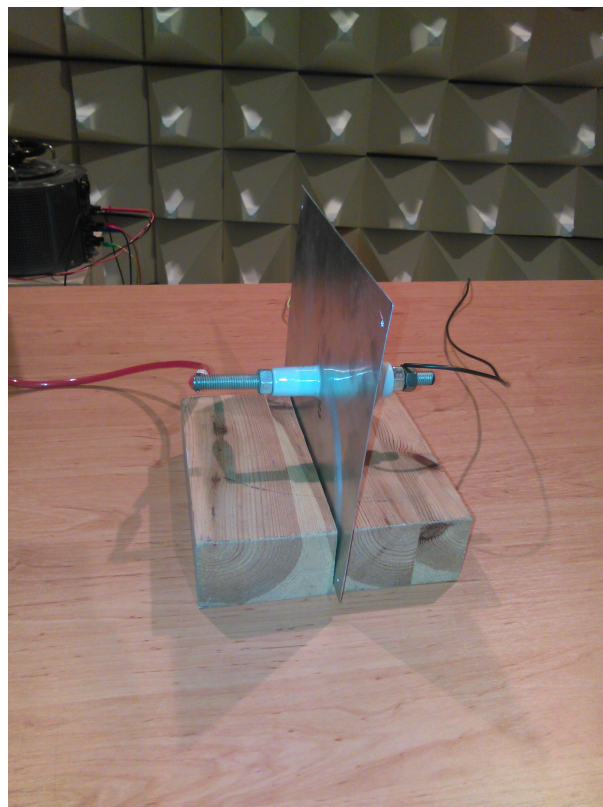
Obr. A.2 Model vodič-deska.



Obr. A.3 Anténa BTA-M pro měření rušení v pásmu od 30 MHz do 3 GHz.



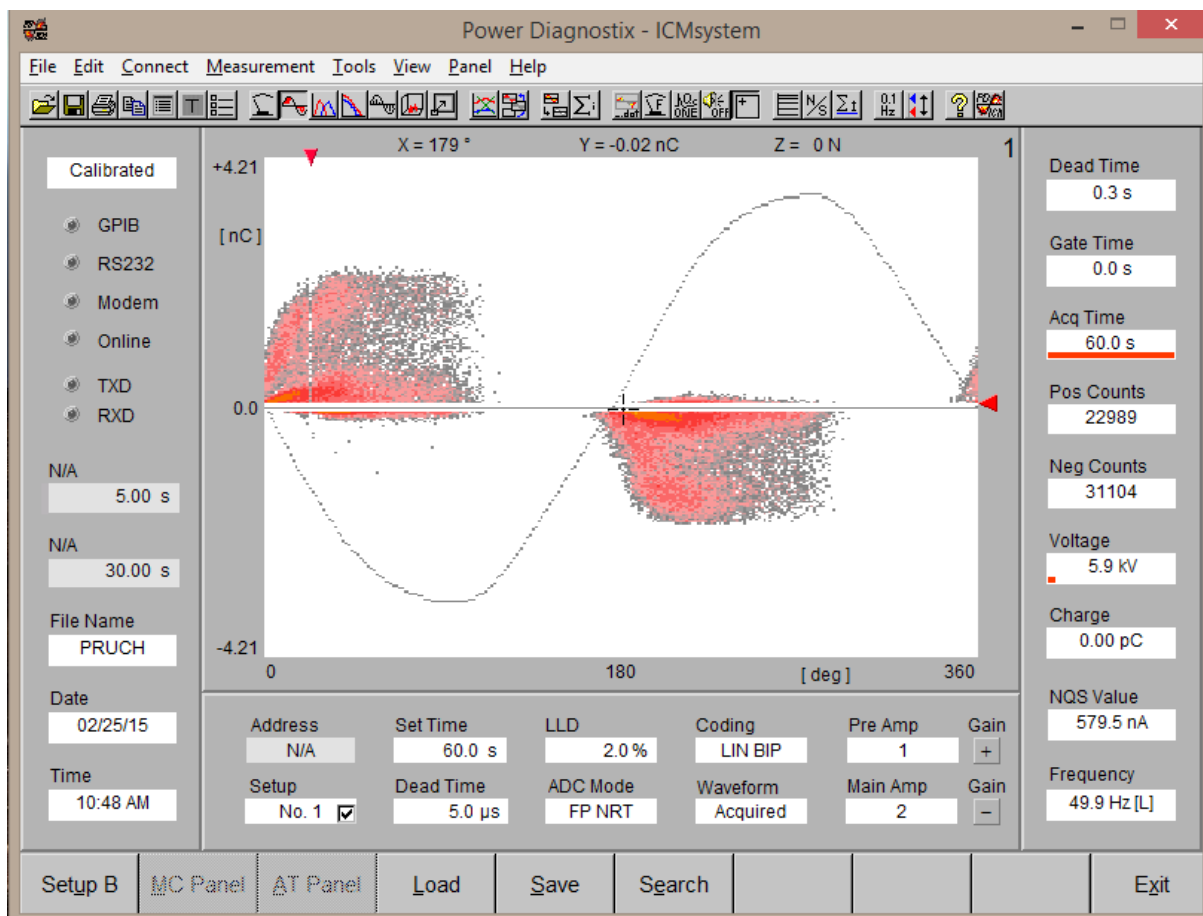
Obr. A.4 Model hrot-miska.



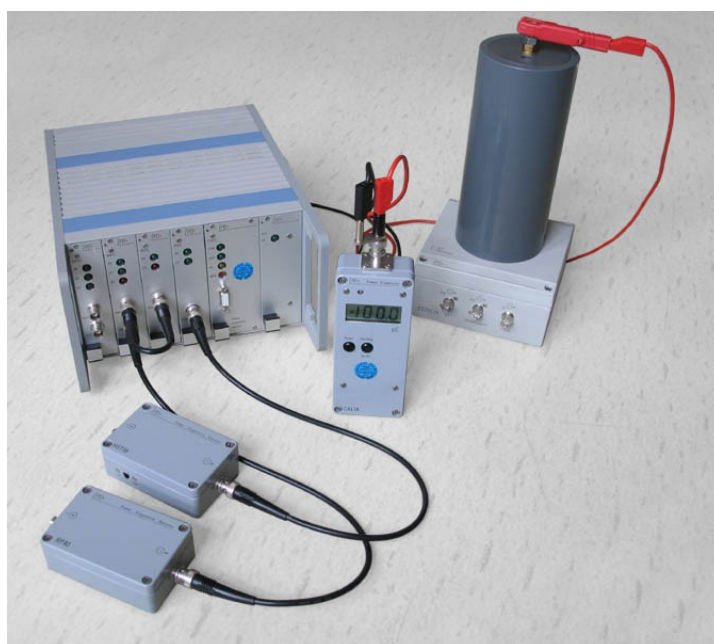
Obr. A.5 Model průchodky.

Příloha B

Měření detektorem částečných výbojů



Obr. B.1 Program Power Diagnostix – ICMsystem pro grafické zobrazení údajů z detektoru částečných výbojů.



Obr. B.2 Měřicí soustava pro měření částečných výbojů.



Obr. B.3 Vazební kapacita.



Obr. B.4 Bezvýbojový transformátor, který slouží jako zdroj napětí při měření částečných výbojů.