

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLOVÉHO  
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2021-468  
(22) Přihlášeno: 07.10.2021  
(40) Zveřejněno: 19.04.2023  
(Věstník č. 16/2023)  
(47) Uděleno: 28.06.2023  
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 09.08.2023  
(Věstník č. 32/2023)

(56) Relevantní dokumenty:  
US 9390067 A1; WO 2021152377 A1; WO 2011051910 A1.

(73) Majitel patentu:  
ModemTec s.r.o., Třinec, CZ  
(72) Původce:  
Ing. Jindřich Liška, Ph.D., Starý Plzenec, CZ  
Ing. Jan Jakl, Ph.D., Plzeň, Bolevec, CZ  
Ing. Sven Künkel, Plzeň, Jižní Předměstí, CZ  
(74) Zástupce:  
Milan Škoda, Nahořanská 308, 549 01 Nové Město  
nad Metují, Krčín

(54) Název vynálezu:  
**Způsob detekce signálu částečného výboje**

(57) Anotace:  
Způsob detekce signálu částečného výboje, zejména způsob detekce signálu částečného výboje z měřeného signálu měřicím zařízením v nejméně jednom místě elektrické sítě, podle kterého je nejprve provedena inicializace proměnných v detekčním zařízení a načtení parametrů  $N_{var}$ ,  $lag\_max$ ,  $dead\_max$ , následně je nejméně jednou načten měřený širokospektrální analogový signál, který je v digitalizačním prostředku převeden do digitálního signálu, který je dále pásmově filtrován tak, že jsou z něho odstraněny složky, které nesouvisí s projevem částečného výboje, kde jejich frekvence je identifikována jako frekvenční oblast, kde nedochází k typickému širokopásmovému přechodnému vybuzení amplitud vlivem částečných výbojů, přičemž následně je z filtrovaného signálu vypočtena variance filtrovaného signálu, která obsahuje nejméně jednu časovou konstantu filtru (viz obr.).

$$\hat{\mu}[k] = \lambda \cdot \hat{\mu}[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot p d_{fite}[k],$$

$$\hat{\sigma}^2[k] = \lambda \cdot \hat{\sigma}^2[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot (p d_{fite}[k] - \hat{\mu}[k])^2.$$

## Způsob detekce signálu částečného výboje

### Oblast techniky

5

Vynález se týká způsobu detekce signálu částečného výboje, zejména způsobu detekce signálu částečného výboje z měřeného signálu měřicím zařízením.

10

### Dosavadní stav techniky

Dobrý stav izolace elektrických obvodů je základní podmínkou jejich správné funkce. Izolační stav je ohrožován různými činiteli, například chemickými, elektrotechnickými či výrobní nedokonalostmi. Koncový stav životnosti izolace je průraz elektrickým polem a tento průraz je vždy budován částečnými výboji, ať je znehodnocování izolačního stavu vytvářeno jakýmkoliv degračním mechanismem, například degradace izolace díky nehomogenitám při výrobě izolace, při vzniku takzvaných dutinek.

Při přiblížení elektrického pole se díky polarizaci na jedné straně dutinky nahromadí kladný náboj a na druhé straně se nahromadí záporný náboj. Hodnota těchto malých nábojů se zvyšuje do okamžiku, kdy vzniklý elektrický potenciál překoná izolační bariéru, a náboje se vyrovnají. V té chvíli vzniká malý výboj a vzhledem k tomu, že po vyrovnání nábojů dojde k zastavení protékání vyrovnávacího proudu, jsou tyto výboje označeny jako částečné výboje.

Částečné výboje v energetických sítích jsou tedy vysokofrekvenční výboje, které trvají v řádech jednotek až desítek nanosekund a částečně přemostují izolaci mezi vodiči a které se objevují v okolí vodičů. K částečným výbojům v přenosových sítích obvykle dochází v amplitudě střídavého proudu. Částečné výboje generují vysokofrekvenční elektromagnetické pulzy, které se šíří v elektrizační soustavě na relativně velké vzdálenosti. Částečné výboje se zjišťují ve zvoleném místě elektrické sítě, zpravidla v uzlech, kterými jsou například rozvodny, přičemž cílem je měřit a identifikovat částečný výboj, jeho amplitudu a fázi, a výskyt částečných výbojů z pohledu dalších parametrů a četnosti jejich výskytu dále analyzovat s cílem diagnostikovat kvalitu vedení a případné poruchy.

Z patentového dokumentu US 9390067 B2 je známa metoda detekce částečného výboje, která využívá dvou senzorů, instalovaných na koncích vedení. Měření na obou koncích musí být synchronní, aby bylo možné provést následnou lokalizaci výboje. Jelikož jsou signály měřené na vedeních rušeny šumy, které mohou zcela maskovat vzniklé částečné výboje, je pro detekci výbojů použita metoda Waveletové transformace v kombinaci se statistickým zpracováním. Následně jsou vypočteny parametry výbojů, kterými jsou jeho amplituda, plocha obálky signálu, fáze vzhledem k referenčnímu napětí a dále je určena poloha částečného výboje podél vedení. Velkou nevýhodou této metody je nutnost použití dvou senzorů, které navíc musí být synchronizovány. Další nevýhodou je to, že v patentu popsání využití Waveletové transformace se ukázalo při testování jako méně robustní vůči vyšším úrovním šumů v signálu.

45

Z dalšího patentového dokumentu US 6809523 B1 je známa další metoda detekce a lokalizace částečných výbojů. Výboje jsou zde analyzovány ve frekvenční a časové oblasti. V tomto dokumentu je uvedeno, že při částečném výboji dojde k vybuzení frekvenčního pásma signálu od 200 kHz do 200 MHz. V závislosti na tom, v jaké části frekvenčního spektra se nachází dominantní amplituda lze rozhodnout o tom, zda k výboji došlo blíže či dále od senzoru. V případě, že je maximální amplituda na nižších frekvencích, došlo k výboji ve větší vzdálenosti než v případě, kdy by maximální amplituda byla na vyšších frekvencích spektra. Následně je v časové oblasti určena fáze výboje vzhledem k referenčnímu napětí a je provedena lokalizace výboje.

50

Z patentového dokumentu US 20170336459 A1 je znám systém pro detekci a lokalizaci částečných výbojů, který pro analýzu částečných výbojů využívá takzvaná Phase resolving spectra. Také v tomto patentu je zmíněna ta vlastnost výbojů, že výboje, které vzniknou blíže ke snímači, mají maximální amplitudy na vyšších frekvencích spektra, a výboje vzniklé ve větší vzdálenosti, které mají maximální hodnotu spektra na nižších frekvencích.

Z dalšího patentového dokumentu US 8126664 B2 je známa detekce částečných výbojů z alespoň dvou senzorů. Měření na obou místech musí být opět doplněno o synchronizaci, která je dále využita pro lokalizaci výbojů. Diagnostický modul systému využívá charakteristiky výbojů v časové a časo-frekvenční oblasti, přičemž se předpokládá využití klasické krátkodobé Fourierovy transformace, Waveletové transformace nebo Wigner-Villeovy distribuce. Nevýhodou je opět nutnost použití dvou snímačů, které značně komplikuje nejen konstrukci celého systému měření, ale i měření a vyhodnocování samotné.

Hlavní nevýhodou současného stavu techniky je to, že většina metod potřebuje pro své uskutečnění použití více senzorů, což měření značně komplikuje.

Cílem vynálezu je sestavení způsobu detekce signálu částečného výboje z měřeného signálu, který bude přinášet vysoce spolehlivé a přesné výsledky, přičemž zařízení, které bude nutné použít k jeho provozu, bude jednoduché, a proto i levné, což bude umožňovat jeho masové použití.

#### Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky do značné míry odstraňuje a cíle vynálezu naplňuje způsob detekce signálu částečného výboje, zejména způsob detekce signálu částečného výboje z měřeného signálu měřicím zařízením v nejméně jednom místě elektrické sítě, jehož podstata spočívá v tom, že nejprve je provedena inicializace proměnných v detekčním zařízení a načtení parametrů  $N_{var}$ ,  $lag\_max$ ,  $dead\_max$ , následně je nejméně jednou načten měřený širokospektrální analogový signál, který je v digitalizačním prostředku převeden do digitálního signálu, který je dále pásmově filtrován tak, že jsou z něho odstraněny složky, které nesouvisí s projevem částečného výboje, kde jejich frekvence je identifikována jako frekvenční oblast, kde nedochází k typickému širokopásmovému přechodnému vybuzení amplitud vlivem částečných výbojů, přičemž následně je z filtrovaného signálu vypočtena variance filtrovaného signálu, která obsahuje nejméně jednu časovou konstantu filtru tak, že

$$\hat{\mu}[k] = \lambda \cdot \hat{\mu}[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot pd_{filt}[k],$$

$$\hat{\sigma}^2[k] = \lambda \cdot \hat{\sigma}^2[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot (pd_{filt}[k] - \hat{\mu}[k])^2,$$

kde:

$\lambda$  je faktor zapomínání v rozsahu 0 až 1 s tím, že typická hodnota faktoru se obvykle pohybuje v rozmezí 0,9 až 0,999, přičemž pokud variance filtrovaného signálu překročí stanovený práh, tak je v čase  $k$  detekována přítomnost částečného výboje,

$\hat{\mu}[k]$  je odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k$ , přičemž jednotkou je jednotka filtrovaného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

$\hat{\mu}[k - 1]$  je odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k-1$ , přičemž jednotkou je jednotka filtrovaného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

$pd_{fil}[k]$  hodnota filtrovaného signálu v čase  $k$ , přičemž jednotkou je jednotka filtrovaného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

5  $\hat{\sigma}^2[k]$  je odhad variance filtrovaného signálu v čase  $k$ , přičemž jednotkou je druhá mocnina jednotky filtrovaného signálu, tedy nejčastěji druhá mocnina voltu, a

$\hat{\sigma}^2[k-1]$  je odhad variance signálu v čase  $k-1$ , přičemž jednotkou je druhá mocnina jednotky filtrovaného signálu, tedy nejčastěji druhá mocnina voltu.

10 Výhodné je, že nejprve dojde k předzpracování signálu vhodně zvoleným filtrem, přičemž v závislosti na charakteru měřeného signálu je zanecháno jen určité frekvenční pásmo. Dále je výhodné, že ve filtrovaném signálu zbyde především informace o částečném výboji. Z filtrovaného signálu se vypočte variance, přičemž parametrem výpočtu je faktor zapomínání. Jsou použity dvě variance, jedna pro detekci částečného výboje a z druhé se následně určuje počátek částečného  
15 výboje. Výhodné je vypočítat druhou varianci z nefiltrovaného signálu pro přesné určení počátku výboje.

Výhodné je, když proměnné jsou inicializovány tak, že:

$$\hat{\mu}[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_2[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}_2^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_3[1] = 0,$$

20 
$$\hat{\mu}_{krit}[1] = 0.$$

Hlavní výhodou této inicializace je univerzální nastavení počátečních hodnot proměnných, bez nutnosti znalosti aktuálního stavu.

25 Dále je výhodné, když v případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven počátek částečného výboje tak, že nejprve je stanovena hodnota variance  $\hat{\sigma}_2^2$  tak, že:

$$\hat{\mu}_2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\mu}_2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\sigma}_2^2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\sigma}_2^2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot (pd[k] - \hat{\mu}_2[k])^2,$$

30 kde:

$\hat{\mu}_2[k]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase  $k$ , přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

35  $\lambda_2$  je faktor zapomínání,

$\hat{\sigma}_2^2[k]$  je odhad variance (rozptylu) měřeného signálu v čase  $k$ , přičemž jednotkou je druhá mocnina jednotky měřeného signálu, tedy nejčastěji druhá mocnina voltu,

$\hat{\mu}_2[k-1]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase k-1, přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

5  $\hat{\sigma}_2^2[k-1]$  je odhad variance měřeného signálu v čase k-1, přičemž jednotkou je druhá mocnina jednotky měřeného signálu, tedy nejčastěji druhá mocnina voltu, a

$pd[k]$  je hodnota měřeného signálu v čase k, přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

10

a dále je stanoven podíl hodnoty variance  $\hat{\sigma}_2^2$  v čase k a v čase k-Nvar tak, že:

$$\Delta\hat{\sigma}_2^2[k] = \frac{\hat{\sigma}_2^2[k]}{\hat{\sigma}_2^2[k - Nvar]}$$

15 kde je Nvar volitelný parametr, který udává počet vzorků variance (zpoždění výpočtu) o něž je jmenovatel výše uvedeného zlomku posunutý oproti čitateli, přičemž tedy může nabývat jakékoliv celočíselné hodnoty s tím, že typickou hodnotou je 20, a dále je v paměti uložen čas maxima k\_max v horizontu kratším než lag\_max, kde je typicky nastavena hodnota 250, od aktuálního času k, přičemž počátek výboje id\_beg je stanoven tak, že:

20

$$id\_beg = k\_max - Nvar,$$

přičemž jestliže není v následujících dead\_max vzorcích určeno nové maximum, je za počátek výboje považován okamžik id\_beg, přičemž jestliže je v následujících dead\_max vzorcích  
25 nalezeno nové maximum funkce  $\Delta\hat{\sigma}_2^2$ , pak je za počátek výboje považován tento nový okamžik id\_beg, přičemž v paměti je aktualizován údaj o počátku výboje id\_beg.

Výhodné je, že pro každý detekovaný částečný výboj je určen zpřesněný okamžik počátku výboje jako okamžik maxima funkce počítané jako podíl variancí dvou po sobě jdoucích klouzavých oken.  
30 Výhodou je, že aplikací tohoto postupu je počátek detekovaného částečného výboje maximem výše uvedeného podílu, tedy maximem funkce  $\Delta\hat{\sigma}_2^2$ .

Také je výhodné, když po uplynutí dead\_max vzorků od okamžiku detekce výboje, kde je typicky nastavena hodnota 50, je hledání počátku výboje ukončeno. Výhoda tohoto přístupu je v tom, že je  
35 hledání počátku částečného výboje omezeno na konečný počet dead\_max vzorků.

Dále je výhodné, když je v případě přítomnosti částečného výboje dále stanoven konec id\_end částečného výboje tak, že za konec částečného výboje je prohlášen okamžik, ve kterém hodnota  
40 kritériální funkce klesne pod 1,1 násobek hodnoty kritériální funkce v počátku částečného výboje tak, že:

$$\hat{\mu}_3[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_3[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\mu}_{krit}[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_{krit}[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot |pd[k] - \hat{\mu}_3[k]|,$$

$$\hat{\mu}_{krit}[id\_end] < 1,1 \cdot \hat{\mu}_{krit}[id\_beg],$$

kde:

45

$\hat{\mu}_3[k]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase  $k$ , přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

$\lambda_3$  je faktor zapomínání,

$\hat{\mu}_3[k-1]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase  $k-1$ , přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

$pd[k]$  je hodnota měřeného signálu v čase  $k$ , přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech,

$\hat{\mu}_{krit}[k]$  je odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase  $k$ , přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech, a

$\hat{\mu}_{krit}[k-1]$  je odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase  $k-1$ , přičemž jednotkou je jednotka měřeného signálu, tedy nejčastěji napětí ve voltech.

Výhodné je, že konec částečného výboje se počítá z rekurzivně počítané sumy absolutní hodnoty signálu a porovnává se její hodnota na začátku a konci částečného výboje. Další výhodou tohoto postupu je rychlost a jednoduchost implementace tohoto postupu v měřicím a vyhodnocovacím zařízení.

Výhodné také je, když v případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven celkový náboj  $Q$  tak, že:

$$Q = a \cdot \frac{1}{f_s} \sum_{i=id\_beg}^{id\_end} |pd[i]|$$

kde:

$Q$  je celkový stanovený náboj, přičemž jednotkou je Coulomb,

$a$  je kalibrační koeficient přepočtu plochy signálu na náboj, přičemž jednotkou je  $\frac{A \cdot s}{V}$ ,

$f_{es}$  je vzorkovací frekvence, přičemž jednotkou je Hz, a

$i$  je index výpočtu sumy od vzorku  $id\_beg$  až do vzorku  $id\_end$ .

Výhodou určení celkového náboje  $Q$  je možnost určit velikost výboje a kategorizovat tak částečný výboj dle jeho velikosti.

Výhodné je, když je v případě přítomnosti částečného výboje dále stanovena fáze v základní harmonické sinusoidě napětí v elektrizační síti tak, že:

$$\varphi = (id\_beg/f_s - t_0) \frac{360}{T},$$

kde:

$\varphi$  je počáteční fáze napětí v síti v okamžiku vzniku částečného výboje, přičemž jednotkou je stupeň,

$t_0$  je absolutní čas začátku aktuální periody napětí,

$id\_beg$  je identifikovaný počátek výboje,

$f_s$  je vzorkovací frekvence, přičemž jednotkou je Hz, a

$T$  je doba trvání poslední celé periody, přičemž jednotkou je sekunda,

přičemž jako perioda střídavého napětí je použita doba trvání  $T$  poslední celé periody a  $t_0$  je časem začátku aktuální periody napětí.

Hlavní výhodou způsobu detekce signálu částečného výboje, podle vynálezu, je to, že navrhovaný způsob umožňuje detekovat větší množství výbojů (resp. téměř všechny) než porovnávané metody, což je velmi významné z pohledu určování degradace izolačních vlastností vedení. Díky tomu je možné jednoduše a levně zjistit stav izolace měřeného objektu. Tento způsob online detekce částečných výbojů v elektrických sítích je založen na pokročilém zpracování signálu měřeném nejčastěji měřicím transformátorem v nejméně jednom místě elektrizační soustavy. Určení časových okamžiků, kdy klouzavý odhad variance překračuje zvolený práh, znamená detekci částečných výbojů. Následně se repetitivně opakuje proces načtení nové hodnoty měřeného signálu, výpočet filtrované hodnoty signálu, rekurzivní výpočet dvou klouzavých variancí s různými časovými konstantami, rekurzivní výpočet klouzavé sumy využívané při určení konce výboje a konečně výpočet parametrů částečných výbojů v případě jeho detekce. Volitelnost koeficientů filtru umožňuje zejména přepínání mezi filtrem typu PP a DP a dále vhodné nastavení parametrů filtru. Způsob detekce využívá sady předdefinovaných filtrů, z nichž se pro danou instalaci vybere ten, který bude nejvíce potlačovat nežádoucí šum při současném zachování projevů hledaných částečných výbojů. Způsob detekce signálu částečného výboje, podle vynálezu, je přímo zaměřen na detekci nestacionarit v měřeném signálu, tedy na změny typu „burst“, na které je velmi citlivý. V porovnání s často používanou metodou DWT, tak není výsledná detekce rušená falešně identifikovanými částečnými výboji.

### Objasnění výkresů

Vynález bude blíže osvětlen pomocí výkresu, na kterém obr. 1 znázorňuje grafický průběh časového průběhu částečného výboje podle prvního příkladu provedení, obr. 2 znázorňuje amplitudový spektrogram signálu částečného výboje podle prvního příkladu provedení, obr. 3 znázorňuje časový průběh variance signálu včetně vyznačeného prahu detekce částečných výbojů podle prvního příkladu provedení, obr. 4 znázorňuje časový vývoj signálu částečného výboje spolu s vyznačením počátku (kolečko) a konce (čtverec) částečného výboje podle prvního příkladu provedení, obr. 5 znázorňuje PDPR (Partial Discharge Phase Resolved) diagram podle prvního příkladu provedení, obr. 6 znázorňuje graficky časový průběh částečného výboje podle druhého příkladu provedení, obr. 7 znázorňuje amplitudový spektrogram signálu částečného výboje podle druhého příkladu provedení, obr. 8 znázorňuje časový průběh variance signálu včetně vyznačeného prahu detekce částečných výbojů podle druhého příkladu provedení, obr. 9 znázorňuje časový vývoj signálu částečného výboje spolu s vyznačením počátku (kolečko) a konce (čtverec) částečného výboje podle druhého příkladu provedení, a obr. 10 znázorňuje PDPR diagram podle druhého příkladu provedení.

### Příklady uskutečnění vynálezu

#### Příklad 1

Způsob detekce signálu částečného výboje z měřeného signálu je prováděn měřicím zařízením uspořádaném v jednom místě elektrické sítě.

- 5 Nejprve je provedena inicializace proměnných v detekčním zařízení, kterým je počítač, a načtení parametrů  $N_{var} = 20$ ,  $lag\_max = 250$ ,  $dead\_max = 50$ , následně je nejméně jednou načten měřený širokospektrální analogový signál, který je v digitalizačním prostředku převeden do digitálního signálu (obr. 1), který je dále pásmově filtrován pásmovou propustí s rozsahem od 400 kHz do 1,5 MHz tak, že jsou z něho odstraněny složky, které nesouvisí s projevem částečného výboje, kde jejich frekvence je identifikována jako frekvenční oblast od 0 do 400 kHz a frekvence vyšší než 1,5 MHz, kde nedochází k typickému širokopásmovému přechodnému vybuzení amplitud vlivem částečných výbojů (obr. 2), přičemž následně je z filtrovaného signálu vypočtena variance filtrovaného signálu (obr. 3), která obsahuje právě jeden faktor zapomínání tak, že

$$\hat{\mu}[k] = \lambda \cdot \hat{\mu}[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot pd_{filt}[k],$$

$$\hat{\sigma}^2[k] = \lambda \cdot \hat{\sigma}^2[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot (pd_{filt}[k] - \hat{\mu}[k])^2,$$

kde je:

- 20  $\lambda = 0,9667$  faktor zapomínání, přičemž pokud variance filtrovaného signálu překročí stanovený práh 15000, tak je v čase  $k$  detekována přítomnost částečného výboje,

$\hat{\mu}[k]$  odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k$  (V),

25  $\hat{\mu}[k - 1]$  odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k-1$  (V),

$pd_{filt}[k]$  hodnota filtrovaného signálu v čase  $k$  (V),

$\hat{\sigma}^2[k]$  odhad variance (rozptylu) filtrovaného signálu v čase  $k$  ve druhé mocnině voltu ( $V^2$ ), a

30  $\hat{\sigma}^2[k - 1]$  odhad variance (rozptylu) signálu v čase  $k-1$  ve druhé mocnině voltu ( $V^2$ ).

Dále jsou proměnné inicializovány tak, že:

$$\hat{\mu}[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_2[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}_2^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_3[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_{krit}[1] = 0.$$

35

Dále je v případě přítomnosti částečného výboje stanoven počátek částečného výboje tak, že nejprve je stanovena hodnota variance  $\hat{\sigma}_2^2$  tak, že:

$$\hat{\mu}_2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\mu}_2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\sigma}_2^2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\sigma}_2^2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot (pd[k] - \hat{\mu}_2[k])^2,$$

kde je:

5  $\hat{\mu}_2[k]$  odhad střední hodnoty signálu v čase k (V),

$\lambda_2 = 0,9167$  faktor zapomínání,

10  $\hat{\sigma}_2^2[k]$  odhad variance (rozptylu) měřeného signálu v čase k ve druhé mocnině voltu (V<sup>2</sup>),

$\hat{\mu}_2[k-1]$  odhad střední hodnoty signálu v čase k-1 (V),

$\hat{\sigma}_2^2[k-1]$  odhad variance (rozptylu) měřeného signálu v čase k-1 ve druhé mocnině voltu (V<sup>2</sup>), a

15  $pd[k]$  hodnota měřeného signálu v čase k (V),

a dále je stanoven podíl hodnoty variance  $\hat{\sigma}_2^2$  v čase k a v čase k-Nvar tak, že:

$$\Delta\hat{\sigma}_2^2[k] = \frac{\hat{\sigma}_2^2[k]}{\hat{\sigma}_2^2[k - Nvar]}$$

20 kde je Nvar = 20 parametr, který udává počet vzorků variance (zpoždění výpočtu) o něž je jmenovatel výše uvedeného zlomku posunutý oproti čitateli a dále je v paměti uložen čas maxima k\_max v horizontu kratším než lag\_max = 250 (počet časových vzorků signálu) od aktuálního času k, přičemž počátek výboje id\_beg je stanoven tak, že:

25 
$$id\_beg = k\_max - Nvar,$$

přičemž jestliže není v následujících dead\_max = 50 vzorcích určeno nové maximum, je za počátek výboje považován okamžik id\_beg, přičemž jestliže je v následujících dead\_max vzorcích  
30 nalezeno nové maximum funkce  $\Delta\hat{\sigma}_2^2$ , pak je za počátek výboje považován tento nový okamžik id\_beg, přičemž v paměti je aktualizován údaj o počátku výboje id\_beg.

Po uplynutí dead\_max = 50 (počet časových vzorků signálu) vzorků od okamžiku detekce výboje je hledání počátku výboje ukončeno.

35 V případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven konec id\_end částečného výboje tak, že za konec částečného výboje je prohlášen okamžik (obr. 4), ve kterém hodnota kritériální funkce klesne pod 1,1 násobek hodnoty kritériální funkce v počátku částečného výboje tak, že:

$$\hat{\mu}_3[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_3[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\mu}_{krit}[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_{krit}[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot |pd[k] - \hat{\mu}_3[k]|,$$

40 
$$\hat{\mu}_{krit}[id\_end] < 1,1 \cdot \hat{\mu}_{krit}[id\_beg],$$

kde je:

$\hat{\mu}_3[k]$  odhad střední hodnoty signálu v čase  $k$  (V),

$\lambda_3 = 0,9444$  faktor zapomínání,

5  $\hat{\mu}_3[k-1]$  odhad střední hodnoty signálu v čase  $k-1$  (V),

$pd[k]$  hodnota měřeného signálu v čase  $k$  (V),

10  $\hat{\mu}_{krit}[k]$  odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase  $k$  (V), a

$\hat{\mu}_{krit}[k-1]$  odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase  $k-1$  (V).

15 V případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven celkový náboj  $Q$  tak, že:

$$Q = a \cdot \frac{1}{f_s} \sum_{i=id\_beg}^{id\_end} |pd[i]|$$

kde je:

20

$Q$  celkový stanovený náboj (C),

$\alpha = 4900$  kalibrační koeficient přepočtu plochy signálu na náboj, který má jednotku  $\frac{A \cdot s}{V}$ ,

$f_s = 60$  MHz vzorkovací frekvence, a

25

$i$  je index výpočtu sumy od vzorku  $id\_beg$  až do vzorku  $id\_end$ .

V případě přítomnosti částečného výboje je dále stanovena fáze v základní harmonické sinusoidě napětí v elektrizační síti (obr. 5) tak, že:

30

$$\varphi = (id\_beg/f_s - t_0) \frac{360}{T},$$

kde je:

35  $\varphi$  počáteční fáze napětí v síti v okamžiku vzniku částečného výboje ( $^\circ$ ),

$t_0$  absolutní čas začátku aktuální periody napětí (s),

$id\_beg$  identifikovaný počátek výboje,

40

$f_s$  – vzorkovací frekvence (Hz), a

$T$  – doba trvání poslední celé periody (s),

45 přičemž jako perioda střídavého napětí je použita doba trvání  $T$  poslední celé periody a  $t_0$  je časem začátku aktuální periody napětí.

## Příklad 2

5 Způsob detekce signálu částečného výboje z měřeného signálu je prováděn měřicím zařízením uspořádaném v jednom místě elektrické sítě.

Nejprve je provedena inicializace proměnných v detekčním zařízení, kterým je speciální přístroj pro detekci, a načtení parametrů  $N_{var} = 20$ ,  $lag\_max = 250$ ,  $dead\_max = 50$ , následně je nejméně jednou načten měřený širokospektrální analogový signál, který je v digitalizačním prostředí  
 10 převeden do digitálního signálu (obr. 6), který je dále pásmově filtrován pásmovou propustí s rozsahem od 2 MHz do 5 MHz tak, že jsou z něho odstraněny složky, které nesouvisí s projevem částečného výboje, kde jejich frekvence je identifikována jako frekvenční oblast od 0 do 2 MHz a frekvence vyšší než 5 MHz, kde nedochází k typickému širokopásmovému přechodnému vybuzení amplitud vlivem částečných výbojů (obr. 7), přičemž následně je z filtrovaného signálu vypočtena  
 15 variance filtrovaného signálu (obr. 8), která obsahuje nejméně jednu časovou konstantu filtru tak, že

$$\hat{\mu}[k] = \lambda \cdot \hat{\mu}[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot pd_{filt}[k],$$

$$\hat{\sigma}^2[k] = \lambda \cdot \hat{\sigma}^2[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot (pd_{filt}[k] - \hat{\mu}[k])^2,$$

20

kde je:

$\lambda = 0,9667$  faktor zapomínání, přičemž pokud variance filtrovaného signálu překročí stanovený práh 2000, tak je v čase  $k$  detekována přítomnost částečného výboje,

25

$\hat{\mu}[k]$  odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k$  (V),

$\hat{\mu}[k - 1]$  odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k-1$  (V),

30

$pd_{filt}[k]$  hodnota filtrovaného signálu v čase  $k$  (V),

$\hat{\sigma}^2[k]$  odhad variance (rozptylu) filtrovaného signálu v čase  $k$  ve druhé mocnině voltu ( $V^2$ ), a

$\hat{\sigma}^2[k - 1]$  odhad variance (rozptylu) signálu v čase  $k-1$  ve druhé mocnině voltu ( $V^2$ ).

35

Dále jsou proměnné inicializovány tak, že:

$$\hat{\mu}[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_2[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}_2^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_3[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_{krit}[1] = 0.$$

V případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven počátek částečného výboje tak, že nejprve je stanovena hodnota variance  $\hat{\sigma}_2^2|_{\text{tak}}$ , že:

$$\hat{\mu}_2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\mu}_2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\sigma}_2^2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\sigma}_2^2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot (pd[k] - \hat{\mu}_2[k])^2,$$

5

kde je:

$\hat{\mu}_2[k]$  odhad střední hodnoty signálu v čase k (V),

10

$\lambda_2 = 0,9167$  faktor zapomínání,

$\hat{\sigma}_2^2[k]$  odhad variance (rozptylu) měřeného signálu v čase k ve druhé mocnině voltu ( $V^2$ ),

$\hat{\mu}_2[k-1]$  odhad střední hodnoty signálu v čase k-1 (V),

15

$\hat{\sigma}_2^2[k-1]$  odhad variance (rozptylu) měřeného signálu v čase k-1 ve druhé mocnině voltu ( $V^2$ ),

$pd[k]$  hodnota měřeného signálu v čase k ve voltech,

20

a dále je stanoven podíl hodnoty variance  $\hat{\sigma}_2^2|_v$  v čase k a v čase k-Nvar tak, že:

$$\Delta \hat{\sigma}_2^2[k] = \frac{\hat{\sigma}_2^2[k]}{\hat{\sigma}_2^2[k - Nvar]}$$

25

kde je Nvar = 20 parametr, který udává počet vzorků variance (zpoždění výpočtu) o něž je jmenovatel výše uvedeného zlomku posunutý oproti čitateli a dále je v paměti uložen čas maxima  $k_{\text{max}}$  v horizontu kratším než  $\text{lag}_{\text{max}} = 250$  (počet časových vzorků signálu) od aktuálního času k, přičemž počátek výboje  $\text{id}_{\text{beg}}$  je stanoven tak, že:

$$\text{id}_{\text{beg}} = k_{\text{max}} - Nvar,$$

30

přičemž jestliže není v následujících  $\text{dead}_{\text{max}} = 50$  vzorcích určeno nové maximum, je za počátek výboje považován okamžik  $\text{id}_{\text{beg}}$ , přičemž jestliže je v následujících  $\text{dead}_{\text{max}}$  vzorcích nalezeno nové maximum funkce,  $\Delta \hat{\sigma}_2^2$ , pak je za počátek výboje považován tento nový okamžik  $\text{id}_{\text{beg}}$ , přičemž v paměti je aktualizován údaj o počátku výboje  $\text{id}_{\text{beg}}$ .

35

Po uplynutí  $\text{dead}_{\text{max}} = 50$  (počet časových vzorků signálu) vzorků od okamžiku detekce výboje je hledání počátku výboje ukončeno.

40

V případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven konec  $\text{id}_{\text{end}}$  částečného výboje tak, že za konec částečného výboje je prohlášen okamžik (obr. 9), ve kterém hodnota kritériální funkce klesne pod 1,1 násobek hodnoty kritériální funkce v počátku částečného výboje tak, že:

$$\hat{\mu}_3[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_3[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\mu}_{krit}[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_{krit}[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot |pd[k] - \hat{\mu}_3[k]|,$$

$$\hat{\mu}_{krit}[id\_end] < 1,1 \cdot \hat{\mu}_{krit}[id\_beg],$$

kde je:

5  $\hat{\mu}_3[k]$  odhad střední hodnoty signálu v čase k (V),

$\lambda_3 = 0,9444$  faktor zapomínání,

10  $\hat{\mu}_3[k-1]$  odhad střední hodnoty signálu v čase k-1 (V),

$pd[k]$  hodnota měřeného signálu v čase k (V),

$\hat{\mu}_{krit}[k]$  odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase k (V),

15  $\hat{\mu}_{krit}[k-1]$  odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase k-1 (V).

20 V případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven celkový náboj  $Q$  tak, že:

$$Q = \alpha \cdot \frac{1}{f_s} \sum_{i=id\_beg}^{id\_end} |pd[i]|$$

kde je:

25  $Q$  celkový stanovený náboj (C),

$\alpha = 4500$  kalibrační koeficient přepočtu plochy signálu na náboj, který má jednotku  $\frac{A \cdot s}{V}$ ,

30  $f_s = 60 \text{ MHz}$  vzorkovací frekvence, a

$i$  je index výpočtu sumy od vzorku  $id\_beg$  až do vzorku  $id\_end$ .

35 V případě přítomnosti částečného výboje je dále stanovena fáze v základní harmonické sinusoidě napětí v elektrizační síti (obr. 10) tak, že:

$$\varphi = (id\_beg/f_s - t_0) \frac{360}{T},$$

kde je:

40  $\varphi$  počáteční fáze napětí v síti v okamžiku vzniku částečného výboje ( $^\circ$ ),

$t_0$  absolutní čas začátku aktuální periody napětí (s),

$id\_beg$  identifikovaný počátek výboje,

$f_s$  – vzorkovací frekvence (Hz), a

$T$  – doba trvání poslední celé periody (s).

5

přičemž jako perioda střídavého napětí je použita doba trvání  $T$  poslední celé periody a  $t_0$  je časem začátku aktuální periody napětí.

10

#### Průmyslová využitelnost

Způsob detekce signálu částečného výboje, podle vynálezu, lze zejména využít k detekci signálu částečného výboje v běžných průmyslových aplikacích, zejména na vedeních elektrického proudu.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob detekce signálu částečného výboje, zejména způsob detekce signálu částečného výboje z měřeného signálu měřicím zařízením v nejméně jednom místě elektrické sítě, **vyznačující se tím**, že nejprve je provedena inicializace proměnných v detekčním zařízení a načtení parametrů  $N_{var}$ ,  $lag\_max$ ,  $dead\_max$ , následně je nejméně jednou načten měřený širokospektrální analogový signál, který je v digitalizačním prostředku převeden do digitálního signálu, který je dále pásmově filtrován tak, že jsou z něho odstraněny složky, které nesouvisí s projevem částečného výboje, kde jejich frekvence je identifikována jako frekvenční oblast, kde nedochází k typickému širokopásmovému přechodnému vybuzení amplitud vlivem částečných výbojů, přičemž následně je z filtrovaného signálu vypočtena variance filtrovaného signálu, která obsahuje nejméně jednu časovou konstantu filtru tak, že:

$$\hat{\mu}[k] = \lambda \cdot \hat{\mu}[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot pd_{filt}[k],$$

$$\hat{\sigma}^2[k] = \lambda \cdot \hat{\sigma}^2[k - 1] + (1 - \lambda) \cdot (pd_{filt}[k] - \hat{\mu}[k])^2,$$

kde:

$\lambda$  je faktor zapomínání v rozsahu 0 až 1, přičemž pokud variance filtrovaného signálu překročí stanovený práh, tak je v čase  $k$  detekována přítomnost částečného výboje,

$\hat{\mu}[k]$  je odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k$ ,

$\hat{\mu}[k - 1]$  je odhad střední hodnoty filtrovaného signálu v čase  $k-1$ ,

$pd_{filt}[k]$  je hodnota filtrovaného signálu v čase  $k$ ,

$\hat{\sigma}^2[k]$  je odhad variance filtrovaného signálu v čase  $k$ , a

$\hat{\sigma}^2[k - 1]$  je odhad variance signálu v čase  $k-1$ .

2. Způsob detekce signálu částečného výboje, podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že proměnné jsou inicializovány tak, že:

$$\hat{\mu}[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_2[1] = 0,$$

$$\hat{\sigma}_2^2[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_3[1] = 0,$$

$$\hat{\mu}_{krit}[1] = 0.$$

3. Způsob detekce signálu částečného výboje, podle některého z nároků 1 a 2, **vyznačující se tím**, že v případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven počátek částečného výboje tak, že nejprve je stanovena hodnota variance  $\hat{\sigma}_2^2[k]$  tak, že:

$$\hat{\mu}_2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\mu}_2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\sigma}_2^2[k] = \lambda_2 \cdot \hat{\sigma}_2^2[k-1] + (1 - \lambda_2) \cdot (pd[k] - \hat{\mu}_2[k])^2,$$

kde:

$\hat{\mu}_2[k]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase k,

$\lambda_2$  je faktor zapomínání,

$\hat{\sigma}_2^2[k]$  je odhad variance (rozptylu) měřeného signálu v čase k,

$\hat{\mu}_2[k-1]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase k-1,

$\hat{\sigma}_2^2[k-1]$  je odhad variance měřeného signálu v čase k-1, a

$pd[k]$  je hodnota měřeného signálu v čase k,

a dále je stanoven podíl hodnoty variance  $\hat{\sigma}_2^2$  v čase k a v čase k-Nvar tak, že:

$$\Delta\hat{\sigma}_2^2[k] = \frac{\hat{\sigma}_2^2[k]}{\hat{\sigma}_2^2[k - Nvar]},$$

kde je Nvar volitelný parametr, který udává počet vzorků variance, o něž je jmenovatel výše uvedeného zlomku posunutý oproti čitateli, a dále je v paměti uložen čas maxima k\_max v horizontu kratším než lag\_max od aktuálního času k, přičemž počátek výboje id\_beg je stanoven tak, že:

$$id\_beg = k\_max - Nvar,$$

přičemž jestliže není v následujících dead\_max vzorcích určeno nové maximum, je za počátek výboje považován okamžik id\_beg, a jestliže je v následujících dead\_max vzorcích nalezeno nové maximum funkce  $\Delta\hat{\sigma}_2^2$ , pak je za počátek výboje považován tento nový okamžik id\_beg, a v paměti je aktualizován údaj o počátku výboje id\_beg.

4. Způsob detekce signálu částečného výboje, podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že po uplynutí dead\_max vzorků od okamžiku detekce výboje je hledání počátku výboje ukončeno.

5. Způsob detekce signálu částečného výboje, podle některého z nároků 1 až 3, **vyznačující se tím**, že v případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven konec id\_end částečného výboje tak, že za konec částečného výboje je prohlášen okamžik, ve kterém hodnota kritériální funkce klesne pod 1,1 násobek hodnoty kritériální funkce v počátku částečného výboje tak, že:

$$\hat{\mu}_3[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_3[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot pd[k],$$

$$\hat{\mu}_{krit}[k] = \lambda_3 \cdot \hat{\mu}_{krit}[k-1] + (1 - \lambda_3) \cdot |pd[k] - \hat{\mu}_3[k]|,$$

$$\hat{\mu}_{krit}[id\_end] < 1,1 \cdot \hat{\mu}_{krit}[id\_beg],$$

kde:

$\hat{\mu}_3[k]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase k,

$\lambda_3$  je faktor zapomínání,

5  $\hat{\mu}_3[k-1]$  je odhad střední hodnoty signálu v čase k-1,

$pd[k]$  je hodnota měřeného signálu v čase k,

$\hat{\mu}_{krit}[k]$  je odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase k, a

10  $\hat{\mu}_{krit}[k-1]$  je odhad střední hodnoty absolutní hodnoty měřeného signálu bez stejnosměrné složky v čase k-1.

6. Způsob detekce signálu částečného výboje, podle některého z nároků 1 až 4, **vyznačující se tím**, že v případě přítomnosti částečného výboje je dále stanoven celkový náboj tak, že:

$$Q = a \cdot \frac{1}{f_s} \sum_{i=id\_beg}^{id\_end} |pd[i]|$$

15

kde:

$Q$  je celkový stanovený náboj,

$a$  je kalibrační koeficient přepočtu plochy signálu na náboj,

$f_s$  je vzorkovací frekvence, a

20  $i$  je index výpočtu sumy od vzorku  $id\_beg$  až do vzorku  $id\_end$ .

7. Způsob detekce signálu částečného výboje, podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že v případě přítomnosti částečného výboje je dále stanovena fáze v základní harmonické sinusoidě napětí v elektrizační síti tak, že:

$$\varphi = (id_{beg}/f_s - t_0) \frac{360}{T},$$

kde:

$\varphi$  je počáteční fáze napětí v síti v okamžiku vzniku částečného výboje,

5  $t_0$  je absolutní čas začátku aktuální periody napětí,

$id\_beg$  je identifikovaný počátek výboje,

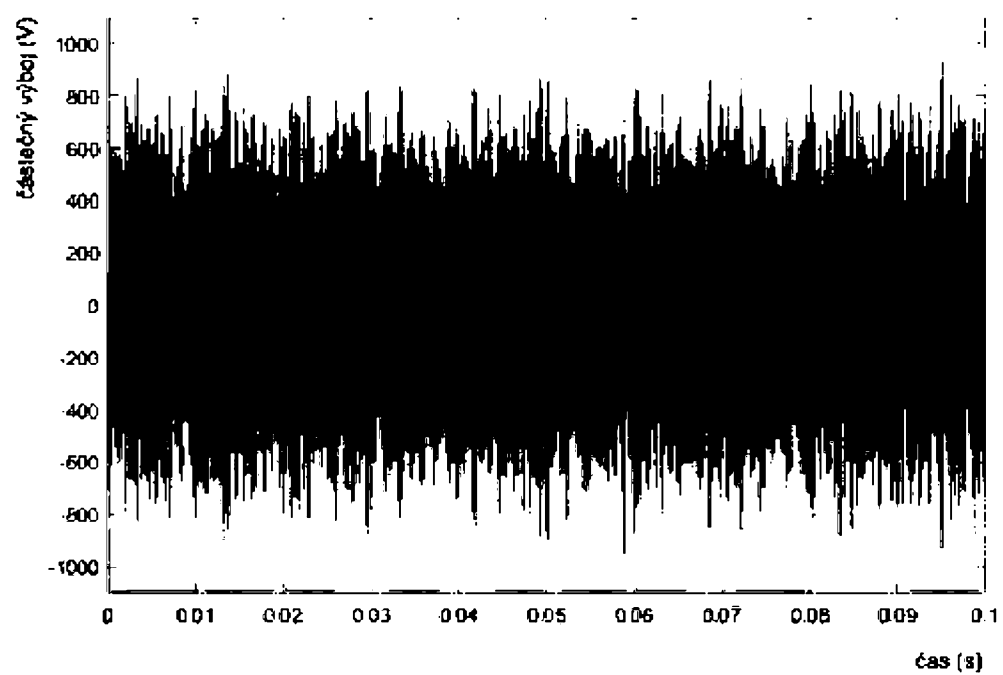
$f_s$  je vzorkovací frekvence, a

$T$  je doba trvání poslední celé periody.

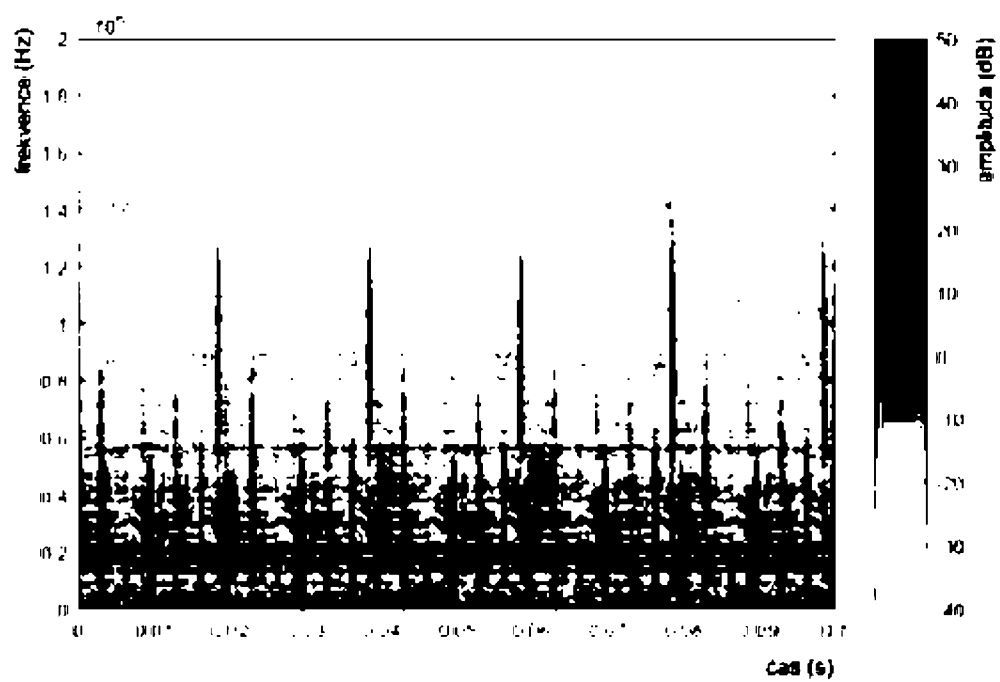
10 přičemž jako perioda střídavého napětí je použita doba trvání  $T$  poslední celé  $t_0$  periody a je časem začátku aktuální periody napětí.

10 výkresů

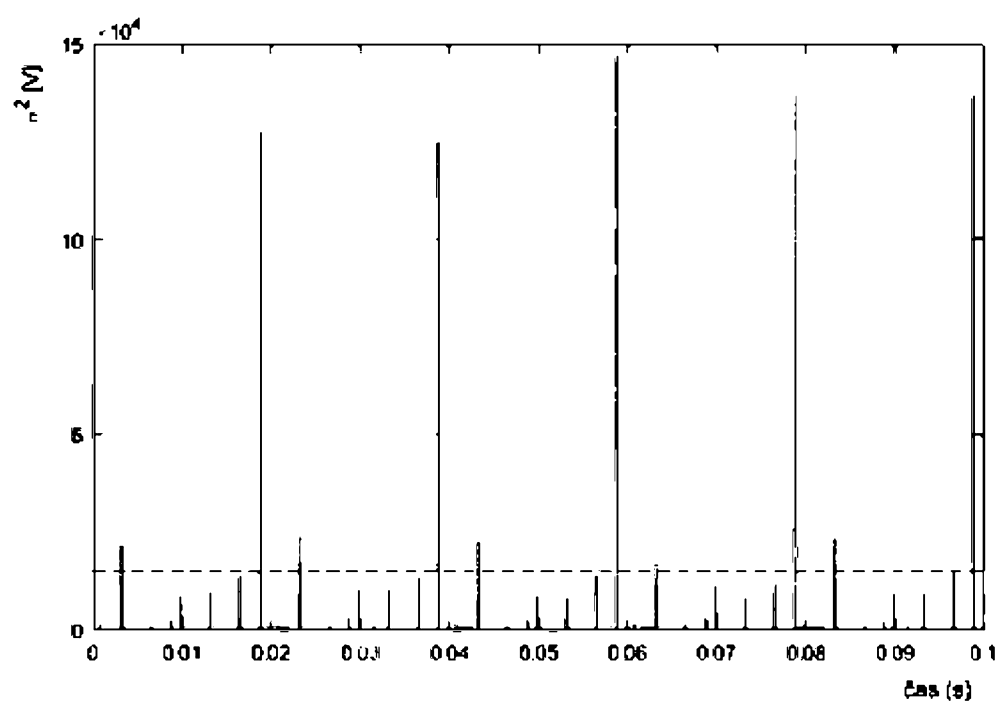
15



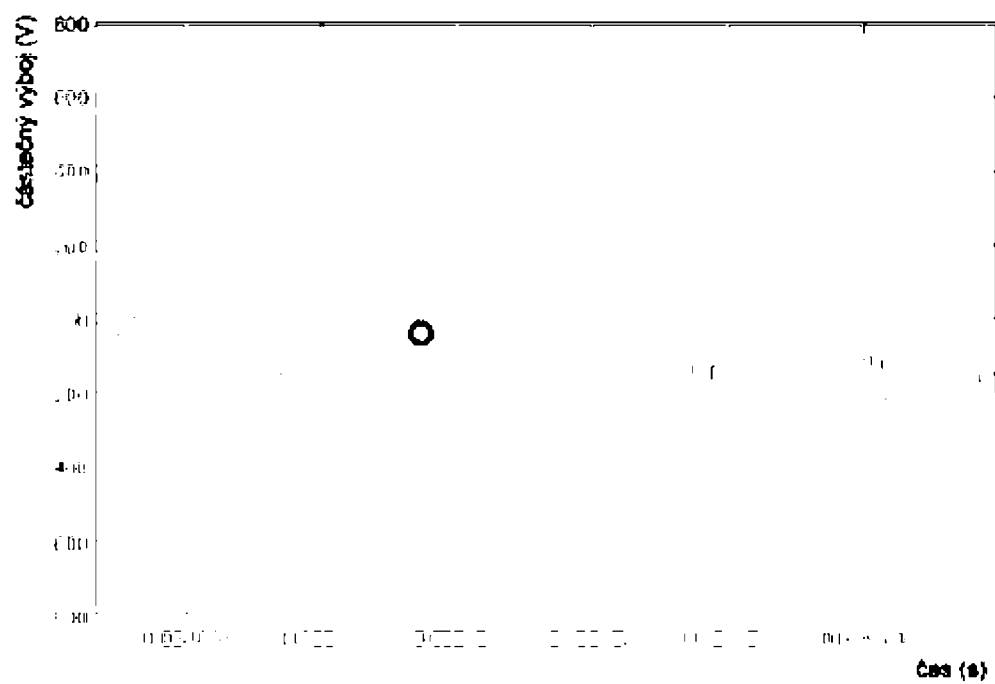
Obr. 1



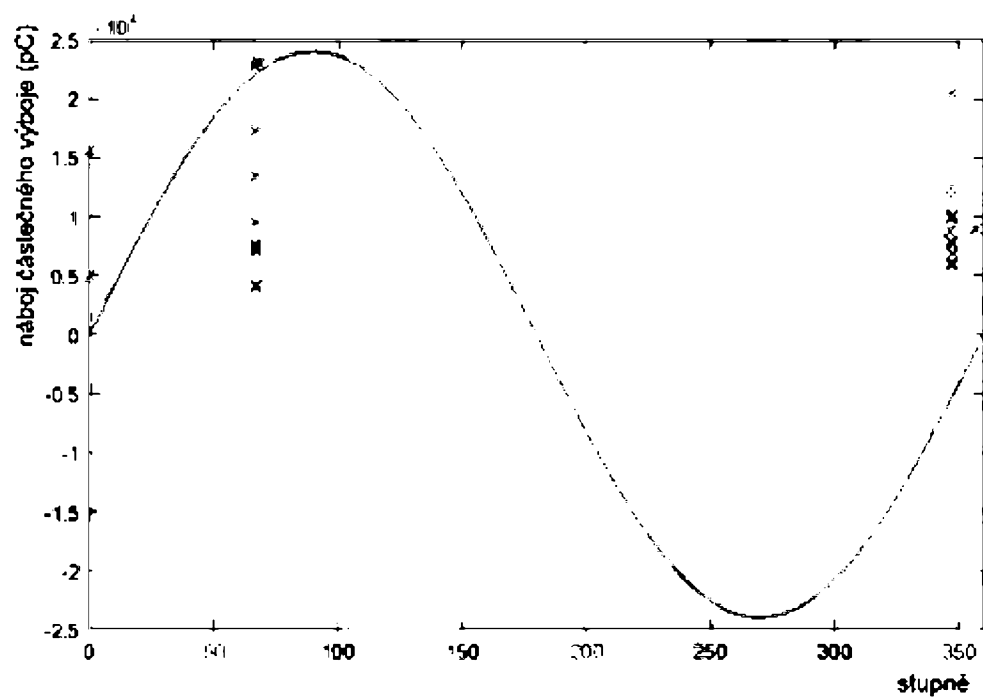
Obr. 2



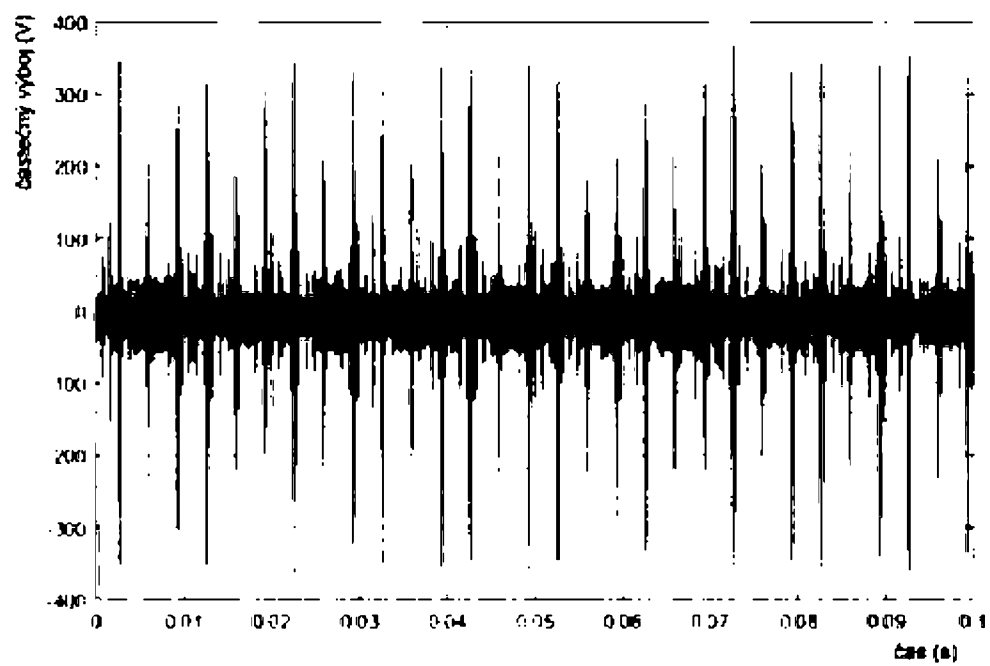
Obr. 3



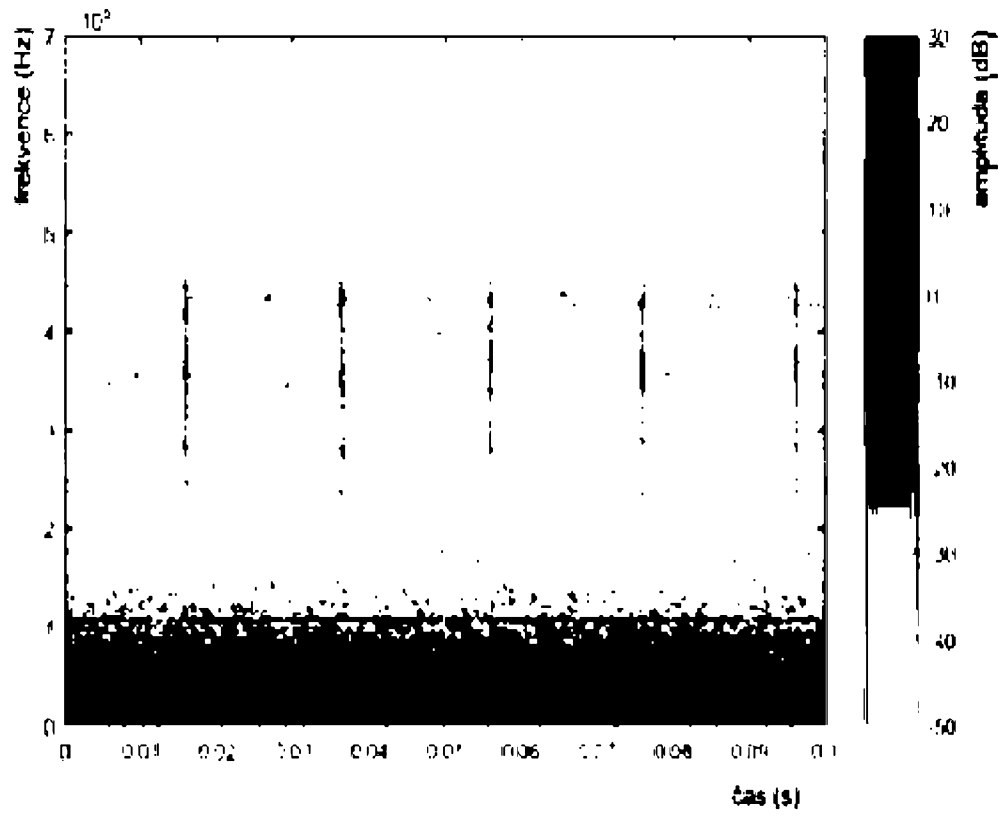
Obr. 4



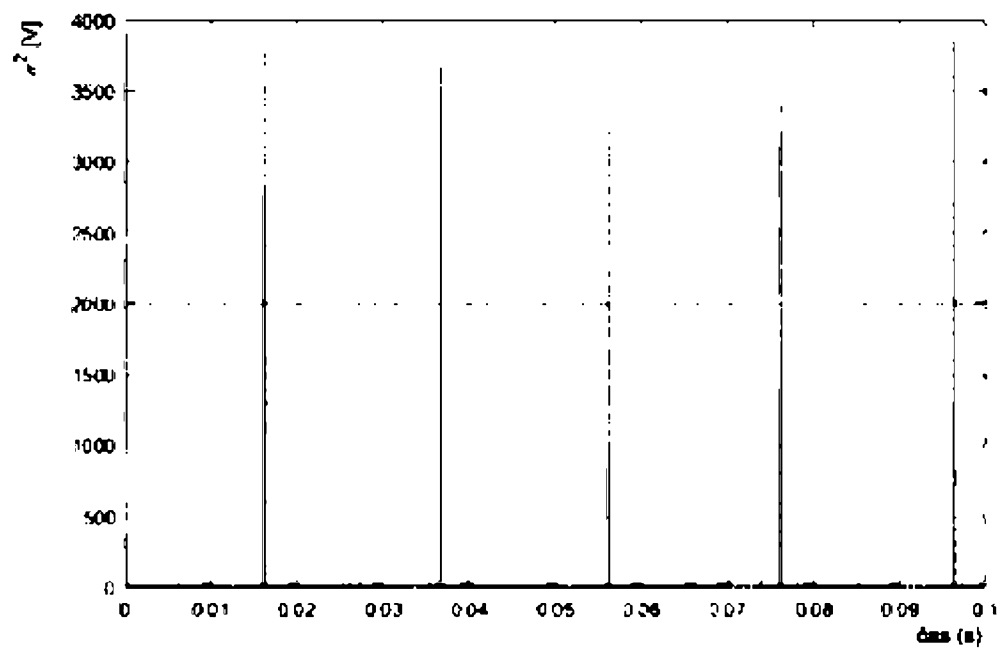
Obr. 5



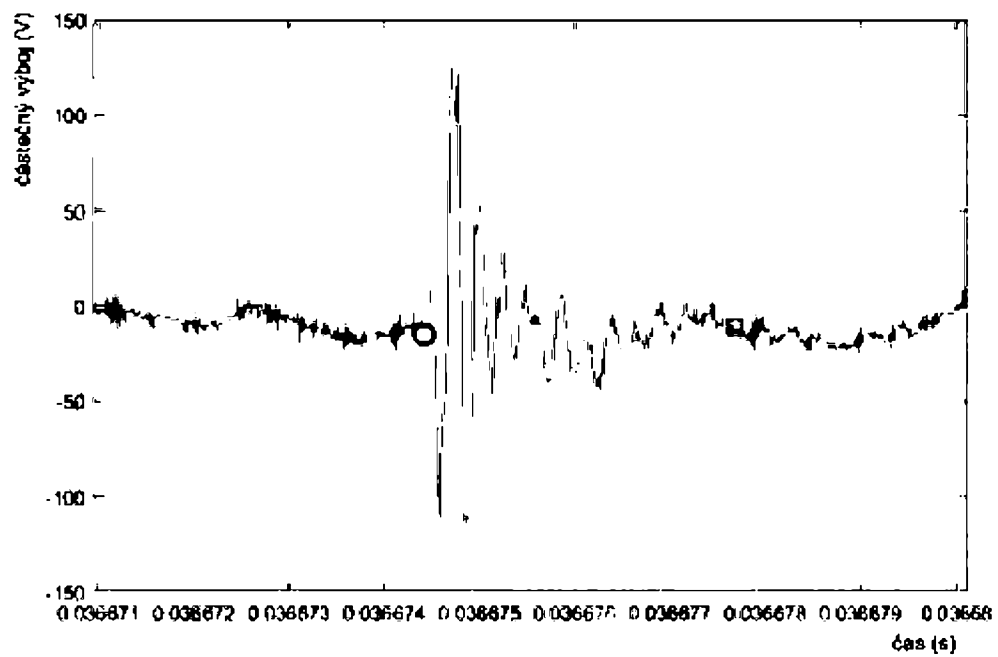
Obr. 6



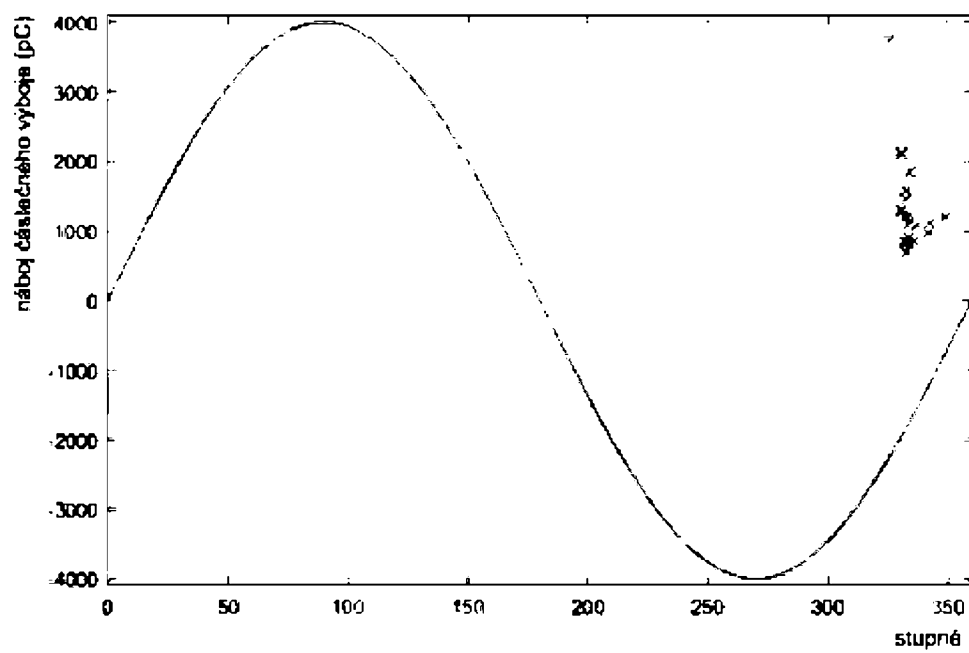
Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9



Obr. 10