

## СПЕКТРАЛЕН АНАЛИЗ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНО ИЗЛЪЧВАНЕ ОТ РАЗРЯДИ, ПОРОДЕНИ ОТ РАЗРЯДИ ОТ НАЕЛЕКТРИЗИРНИ ДИЕЛЕКТРИЦИ

**Юлиан Заимов**

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, julianus@mail.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Направен е преглед на съществуващите начини за определяне на статична електризация при различни технологични процеси във взривоопасни производства. За целта се използват статиметри, които измерват електрически интензитет и на тази база се правят заключения за електрическите разряди.

В статията се предлага начин за индикация на електростатични разряди в потенциално експлозивна атмосфера, чрез анализ на електромагнитното поле, което може да бъде възприето като сигнал за съществуването им.

### SPECTRAL ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM ELECTRICAL DISCHARGES, POSED FROM ELECTRICAL DISCHARGES OF ELECTRIFIED DIELECTRICS

**Youlian Zaimov**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria*

**ABSTRACT.** Was made a review of existing methods of determining the static electricity in various technological processes in explosives production. For this purpose apparatuses are used to measure electrical intensity and on that basis draw conclusions about the electrical discharges. The article provides a way to indicate electrostatic discharges in a potentially explosive atmosphere by analyzing the electromagnetic field that can be perceived as a signal of their existence.

Известно е, че всеки електрически разряд през диелектрик поражда излъчване на електромагнитни вълни. В [1] е предложено това обстоятелство да се използва за откриване на електрически разряди, възникнали поради натрупване на статични заряди върху диелектрични повърхности. Това може да се постигне чрез създаването на индикатор, който да открива и сигнализира за наличие на разряди в потенциално опасна експлозивна атмосфера.

За сигурната работа на такъв индикатор е необходимо да се намерят:

1. Критерии, с необходимата достоверност, които позволяват да се разграничат електромагнитните сигнали от разрядите и от неизбежните външни смущения. Една възможност в това отношение е изследването на честотния спектър на електромагнитното излъчване, създадено при наличие на опасни електростатични разряди, които могат да възпламеняват взривоопасните смеси.

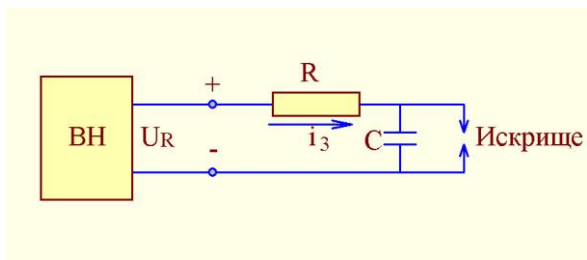
2. Евентуални зависимости между енергията  $W$  на разрядите и някоя характеристика на честотния спектър.

От няколко години насам в лаборатория „Екстехника“ при МГУ-НИС, акредитирана за изпитване на статична електризация в условията на потенциално опасна експлозивна атмосфера, се провеждат експериментални изследвания чрез записване на електромагнитните сигнали, излъчвани от изкуствено създадени разряди между проводими електроди с малки размери. За целта е конструиран изпитвателен стенд, показан на фиг. 1.

Напрежението между електродите се създава от външен източник ВН, съгласно схемата, показана на фиг. 2. Резисторът  $R$  има съпротивление от порядъка на мегаоми, което може да се регулира. Кондензаторът  $C$  представлява батерия от високоволтови кондензатори, с които чрез подходящо свързване може да се променя стойността на капацитета. Експериментите са проведени с комбинация от различни форми на електродите – сфери, остриета, острие - плоскост /диск/ и др.



Фиг. 1



Фиг. 2

Схемата работи по следния начин:

Кондензаторът С се зарежда от източника на ВН през резистора R с ток  $i_3$ . Когато напрежението на кондензатора  $U_c$  достигне определена стойност започва да протича ток на утечка  $i_{yt}$  между електродите. Ако токът на зареждане

$$i_3 = \frac{U_c}{R} > i_{yt}, \text{ напрежението } U_c \text{ продължава да нараства}$$

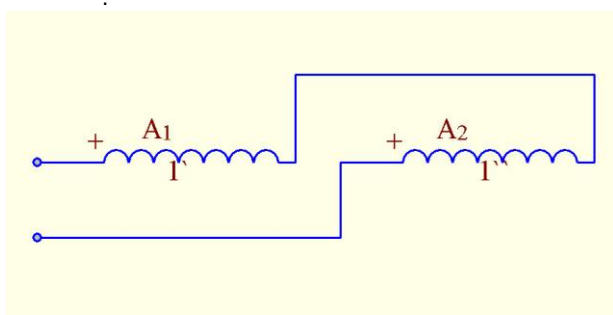
до достигане на стойността на пробивното напрежение  $U_{np}$  в искрището се осъществява разряд. След разряда кондензаторът остава зареден с някакво остатъчно напрежение, което може да бъде положително или отрицателно, но по абсолютна стойност е много по-малко от пробивното и може да се пренебрегне. Интервалът от време  $\Delta T$  между разрядите може да се регулира чрез изменение на R съгласно формулата:

$$\Delta T = -RC \ln \left( 1 - \frac{U_{np}}{U_c} \right)$$

Енергията на разряда се определя от формулата

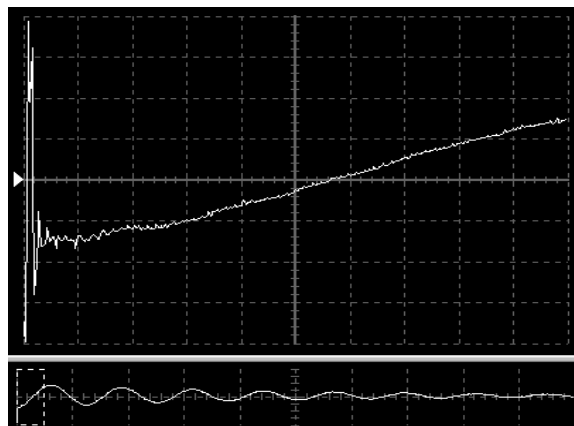
$$W = 0.5 C U_{np}^2$$

Излъчените електромагнитни вълни при всеки пробив се регистрират чрез системата, показана на фиг.3. Тук  $A_1$  и  $A_2$  са две еднакви рамкови антени, свързани диференциално, така че когато източникът е между тях сигналите да се сумират, а когато е в околното пространство – да се изваждат. Полученият от тях сигнал се записва на компютърен осцилоскоп.



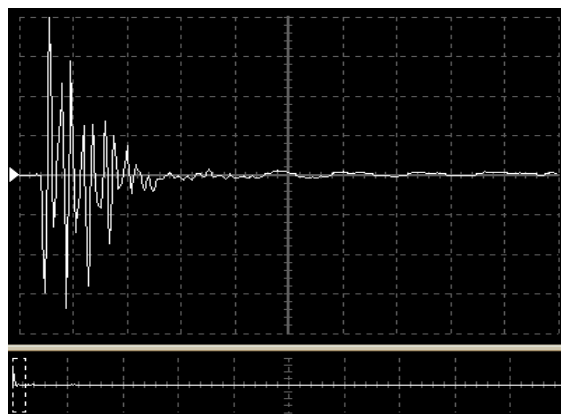
Фиг. 3

Изследвани са множество разряди с използване на различни видове електроди, като стойностите на параметрите R, C,  $U_c$  и  $U_{np}$  имат различни стойности. Големината на  $U_{np}$  се изменя при изменение на разстоянието между електродите. Типични записи на разрядите са показани на фиг.4, 5, 6 и 7.



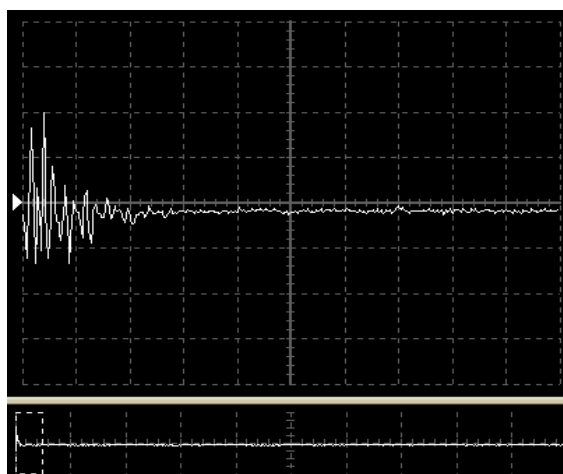
Фиг. 4

Мащаб – 1 деление е  $10\mu s$



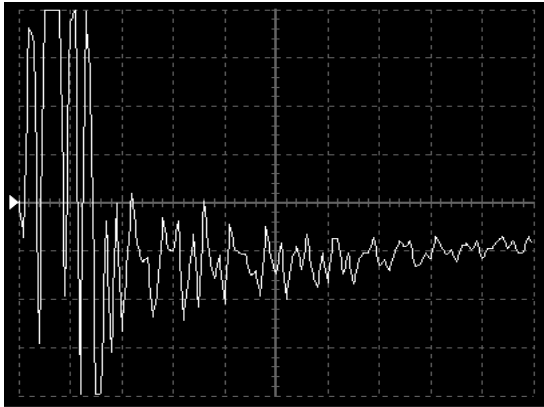
Фиг. 5

Мащаб – едно деление е  $10 \mu s$



Фиг. 6

Мащаб – едно деление е  $10 \mu s$



Фиг. 7

Машаб – едно деление е  $0,1 \mu\text{s}$

За да се даде тълкувание на получените резултати е необходимо да се направи и теоретичен анализ на идеализиран разряд при описаната постановка

За целта е приложена общата теория [2] и [3], която се отнася до излъчване, породено от синусоидален ток към конкретния случай, при който токът на разряда се изменя по псевдопериодичен закон:

$$i = i_m e^{-\delta t} \sin \omega t$$

$$\text{Тук } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \delta = \frac{R_p}{L}; \quad i_m = U_{np} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

където  $L$  е индуктивност на разрядния контур  
 $R_p$  – активно съпротивление на разрядния контур

Тъй като електромагнитното излъчване е пропорционално на ускорението на заряда, т.е. на първата производна на тока във времето при  $\delta \ll \omega$  може да се напише

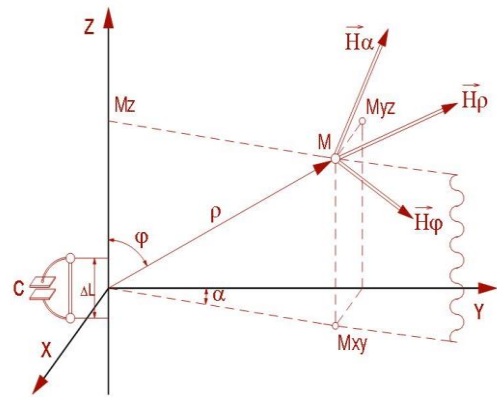
$$H_\alpha = \frac{\Delta l \times i_m}{4\pi\rho^2} e^{-\delta t} \sin \varphi \left[ \frac{2\pi\rho}{\lambda} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) + \sin\left(\omega t - \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) \right]$$

$$E_\rho = \frac{\Delta l \times i_m}{4\pi\rho^2} e^{-\delta t} Z_b \cos \varphi \left[ 2 \sin\left(\omega t - \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) - \frac{\lambda}{2\pi\rho} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) \right]$$

$$E_\varphi = \frac{\Delta l \times i_m}{4\pi\rho^2} e^{-\delta t} Z_b \sin \varphi \left[ \frac{2\pi\rho}{\lambda} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) + \sin\left(\omega t - \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) - \frac{\lambda}{2\pi\rho} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi\rho}{\lambda}\right) \right]$$

$$\text{Тук } Z_b = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}; \quad \lambda = \frac{2\pi}{w\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$$

Смисълът на геометричните параметри във формулите е показан на фиг.8, на която е изобразено искрището във пространствена координатна система.



Фиг. 8

Сигналът, индуциран в рамковите антени се определя от израза:

$$U = -2w\mu_0 \frac{d}{dt} \left[ \iint \vec{H}_\alpha \cdot \vec{ds} \right]$$

където  $w$  е броят на навивките на всяка от двете рамки  
 $s$  - повърхността, оградена от всяка рамка.

Анализът на написаните изрази показва, че полезният сигнал зависи по два различни начина от разстоянието между разряда и антените – той намалява с първата и втората степен на това разстояние. Тъй като антените са в непосредствена близост до източниците на разряди /сравнено с дължините на излъчваните вълни/ от значение са и двете съставки.

Направените експериментални записи показват една характерна особеност:

В началото на всеки разряд съществува електромагнитно излъчване с висока честота – от порядъка на мегахерци /примерно от 1 до 30 MHz/. Този сигнал бързо затихва и е последван от друг – обикновено с по-добре изразена псевдопериодична форма, който очевидно е породен от псевдопериодичния разряд на искрището. Честотата на този сигнал е значително по-ниска – от порядъка на 100 kHz и е определена от параметрите индуктивност и капацитет на разрядната верига. Тъй като при разряди, създадени от наелектризиранни диелектрични повърхности и логично да се очакват сигнали с по-високи честоти, но при малки амплитуди, индикаторът трябва да реагира и на сигнали с високи честоти, които възникват в началото на всеки разряд.

Най-вероятното обяснение за наличието на високочестотен сигнал са процесите на пробив на диелектрика в предпробивния период. Тъй като сигнали с честоти от порядъка на мегахерци се наблюдават при наличие на атмосферно електричество и при ефекта корона [4], може да се смята, че тази честота е най-сигурен показател за съществуването на разряди във въздуха.

## Изводи

Предлаганият индикатор трябва да реагира на електромагнитни сигнали в честотен обхват поне до 20 MHz. Той трябва да има чувствителност и по отношение на ниски честоти от порядъка на 100 kHz, които възникват именно при най-мощните разряди, а те са и най-опасни по отношение на възпламеняване на потенциално експлозивната атмосфера.

*Препоръчана за публикуване от кат. „Електрификация на минното производство”, МЕМФ*

## Литература

- Козаров, А., Заимов, Ю. Дистанционно определяне на енергията на електростатичните заряди, годишник на МГУ – том 51, свитък III – 2008 г.
- Ландау, Л., Е.М.Лившиц, 1969. *Механика и електродинамика*, М., Наука
- Козаров, А, 2001. *Теоретична електротехника, ч.II*, С., ИК при МГУ
- Георгиев, М, и др., 1990. *Техника на високите напрежения*, С., Техника